農業試驗所特刊第 245 號

精農生機研究與發展學術研討會專刊

徐武煥　楊智凱　劉滄棽　主編

農業部農業試驗所　編印

中華民國 114 年 1 月

農業試驗所特刊第 245 號

精農生機研究與發展學術研討會專刊

徐武煥　楊智凱　劉滄棽　主編

農業部農業試驗所　編印

中華民國 114 年 1 月

Special Publication of TARI No. 245

Proceedings of A Symposium on Research and Development of Smart Agriculture and Biomechatroincs Engineering

Held at Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, Republic of China
January 7, 2025

Edited by
Wu-Huan Hsu, Chih-Kai Yang, Tsang-Sen Liu

Sponsors
Ministry of Agriculture (MOA)
Department of Agricultural Science and Technology, MOA
Organizer
Taiwan Agricultural Research Institute, MOA
Published by
Taiwan Agricultural Research Institute, MOA
January, 2025

目錄

序 V
致謝 VI
研討會議程 VII

專題演講

精農生機 1

智慧農業

病蟲害智慧監測技術與發展 23
工程技術於智慧禽舍之進展與應用 31
稻作智農技術研發與落地的生態系建構 38
以即時動態定位技術提升作物管理與農機運作效率之應用 48

農業設施新技術

溫室智慧化到數位轉型所面臨的挑戰 57
智慧溫室之栽培管理與實務應用 62
溫室作物栽培智慧灌溉技術之應用與發展 77
作物模式應用新契機-以番茄作物模式 TOMGRO 為例 93

省工自動化農業機械

羊隻自動化精料餵飼系統 101
電動農機發展規劃與展望 109
中部地區園藝作物省工農機研發應用 118
雲嘉南地區省工農機具研發應用及展望 125

壁報摘要

應用 AI 動監測系統進行粉蝨防治預測及預警的可行性評估 133
數位輔助乳牛體態評分辨識技術應用 134
應用農噴無人機防治鳳梨粉介殼蟲之成效評估 135
國產清糞機器人設計簡介 136
進口吸糞機器人單純吸糞模式之清潔度調查 137
乳牛場導入機器人擠乳機案例分享 138
臺灣葡萄露菌病預警系統雛型開發與初步成果 139
你餵的是「資料」還是「毒藥」？ 不可不知的資料源頭管理技巧！ 140
智慧型無線灌溉控制系統開發與應用 141

蔬菜種苗產銷管理系統建置與推廣 142
蔬菜育苗生長預測模型開發及其應用 143
菇舍智慧型 LED 燈滅蟲模組 144
排程作業噴灑車之開發與應用 145
Developing a Dynamic Plant Height Model to Manage Rice Lodging Risk for
Decision-Making in Paddy System 146
國產自動乳牛餵飼 TMR 車的設計與應用—提升本土畜牧機械供應鏈 147
小胡瓜生理特徵分析應用技術 148
固態發酵裝置 149
應用可見光與熱影像技術於馬拉巴栗根部品質評估 150
基於 YOLOv9 與 LSTM-FCN 模型之茶樹生長預測曲線模型建立 151
斜紋夜蛾自動監測技術在萵苣生產管理之應用 152
農企業資源規劃 (ERP) 系統與產量預測模型之整合利用 153
3D 點雲圖像在土雞體重監測中的應用 154
番茄青枯病早期預警系統 155
果品害蟲判識及檢疫害蟲影像數位化技術 156
智慧水稻栽培數位分身 157
設施葫蘆科蔬菜種子生產體系之建立 158
設施苦瓜栽培技術之研究 159
小果番茄非疫生產點溫室之建置 160
耐逆境育種溫室設計與應用：應對極端氣候的創新解決方案 161
建立與推動甜椒安全生產之害蟲管理模式 162
開發粉蝨自動監測裝置及其在設施蔬果之應用效能評估 163
節能減碳之漁船設備開發與應用 164
AI 技術運用於溫室智慧型環控系統開發 165
自走式土壤蒸汽消毒機克服連作障礙之試驗調查及分析 166
新型鳳梨釋迦集貨場果實清潔機械試驗 167
電動葉菜散裝收穫機設計與性能評估 168
設施蔬菜一貫化機械技術整合應用與效益分析 169
電動式青梗白菜收穫機之研發 170
阿基米德微水力發電儲能系統暨電動農地搬運車之整合應用 171
電動履帶式蔬菜移植機 172
電動式管理作業車開發 173
無人機 GPS 定位投放赤眼卵寄生蜂球技術 174

序

全世界的農業生產正面臨許多嚴峻的挑戰，包括氣候變遷及從農人口老化造成的糧食安全問題，故農業設施及新技術相繼被開發利用，許多研究人員都嘗試以新的科技去解決農業所面臨的問題。本專刊的主軸為精農生機，涵蓋智慧農業、農業設施新技術與省工自動化農業機械三項主題，各主題並將相關研究發展及未來之挑戰與展望做評析。目前許多前瞻性的研究都將數位平台、穿戴式設備、區塊鏈、無人機、IoT、大數據、AI 及大型語言模型 LLM 等新的軟硬體技術進行整合應用，透過創新科技結合農業技術產生新型態的生產模式，以提升農業生產力和資源利用，促進環境保護和永續發展的長期目標，這些主題也都與農業部推動的政策目標願景緊密扣合。

臺灣從民國 80 年開始實施 10 年 (兩期) 之「農漁牧產業自動化計畫」，大力推動農業機械的研發；於民國 103 至 106 年執行有關農業設施新技術之「推動農業科技產業全球運籌計畫」；並於民國 106 年開始推動智慧農業，其研發方向都是因應產業的需求及契合國際的趨勢。例如 2013 年德國開始實施被稱呼為第四次工業革命之「工業 4.0」後，因其對於工業生產的效率可以有效提高，故許多國家趨之若鶩，爭相仿效，農業也開始朝智慧農業 (smart agriculture) 研究發展。2025 年我國執行智慧農業計畫邁入第 9 年，目前許多研發之新技術已逐漸落地普及，其計畫期間所建立的示範點就扮演推廣重要的角色。本專刊內，有很多研發技術已於實際場域整合應用，逐漸從基礎應用研發開始朝產業生態系穩步發展。面對氣候變遷所造成農業生產的影響及衝擊，如何利用精農生機新科學技術與系統，以因應未來全球人口成長的需求並確保糧食安全，是世界及臺灣未來農業研究發展目標重要的一環，期盼各位農業先進於閱讀本專刊的內容後都能有所啟發及收穫。

謹於此序，誠摯感謝各學研單位的參與，及完成本專刊所有相關人員的貢獻。

農業部農業試驗所所長 謹識

致謝

謹在此向本專刊論文作者及壁報發表人致上最深之謝意。(以各篇報告之第一作者為代表，依姓氏筆畫排列)

專題演講：蔡致榮副所長

論文發表 (含口頭報告)：田雲生研究員兼科長、呂椿棠研究員兼主任、邱奕志終身特聘教授、林達德終身特聘教授、洪福良總經理、康樂助理研究員、張翊庭副研究員、黃惟揚副研究員、蔡燿全副教授、賴信忠副研究員、鍾瑞永研究員兼科長

壁報發表：王柏元副法律研究員、王姿伶小姐、石信德研究員、朱玟霖助理教授、江明耀助理研究員、何佳勳助理研究員、吳有恒副研究員、吳東鴻副研究員、李佳馨助理研究員、李易樺助理研究員、沈煜棠博士、林鳳琪研究員、周浩源助理研究員、姚銘輝研究員、陳世芳副教授、陳怡璇助理研究員、陳苓祐助理研究員、陳淑佩研究員、郭正元博士、徐武煥研究員、張倚瓏助理研究員、張淑貞副研究員、許晴情助理研究員、許湣銘研究生、張勝智助理研究員、曾祥恩助理研究員、黃莉欣研究員、黃毓翔先生、黃秀雯助理研究員、曾鉅翔助理研究員、黃政龍副研究員、楊尚唯助理研究員、楊清富副研究員、廖曉涵助理研究員、蔡瑜卿副研究員、蔡佳欣副研究員、謝廣文副教授

研討會議程

日期：114 年 1 月 7 日 (星期二)
地點：農業試驗所產業服務中心大樓 3 樓國際會議廳

1 月 7 日		
時間	議程	主持人/演講人
09:00～09:30	報到	
09:30～09:45	長官及來賓致詞	
09:45～09:50	團體合照	
09:50～10:50	蔡副座專題演講	
第一節	智慧農業(主持人：李紅曦司長)	
10:50～11:05	病蟲害智慧監測技術與發展	臺灣大學林達德教授
11:05～11:20	工程技術於智慧禽舍之進展與應用	中興大學蔡燿全副教授
11:20～11:35	稻作智農技術研發與落地生態系建構	本所賴明信研究員
11:35～11:50	以即時動態定位技術提升作物管理與農機運作效率之應用	本所張翊庭副研究員
11:50～12:05	Q&A	
12:05～13:20	午餐暨中午休息 (壁報展示與交流時間)	
第二節	農業設施新技術 (主持人：艾群理事長)	
13:20～13:35	溫室智慧化到數位轉型所面臨的挑戰	本所產服中心呂椿棠主任
13:35～13:50	智慧溫室之栽培管理與實務應用	鍠麟機械有限公司 洪福良總經理
15:50～14:05	溫室作物栽培智慧灌溉技術之應用與發展	桃園場賴信忠副研究員
14:05～14:20	作物模式應用新契機-以番茄作物模式 TOMGRO 為例	本所康樂助理研究員
14:20～14:35	Q&A	
14:35～14:55	中場休息	
第三節	省工自動化農業機械 (主持人：盛中德教授)	
14:50～15:05	羊隻自動化餵飼系統	宜蘭大學邱奕志教授
15:05～15:20	電動農機發展規劃與展望	桃園場李汪盛科長
15:20～15:35	中部地區園藝作物省工農機研發應用	臺中場田雲生科長
15:35～15:50	雲嘉南地區省工農機研發應用與展望	臺南場鍾瑞永科長
15:50～16:05	Q&A	
16:05～	賦歸	

精農生機

蔡致榮[1]、楊智凱[2]、徐武煥[3]、施富邦[4]、葉有順[5]、林育靖[6]、陳怡婷[7]、顧佩容[8]
[1] 農業部農業試驗所研究員兼副所長
[2,3,4] 農業部農業試驗所農業工程組研究員兼組長、研究員、助理研究員
[5,6,7,8] 智慧農業專案推動小組經理

一、前言

全球農業正面臨多重挑戰，隨著人口增長、氣候變遷、病蟲害、資源短缺和農業生產成本增加等問題，傳統農業耕作方式已難以滿足日益增長的糧食需求。臺灣身處東亞交通樞紐地帶，且為世界的半導體科技重鎮，科技的發展經由專業知能的提升，透過網絡的互動與交流，更為繁盛，而現今的生產製造，皆仰賴科技的導入，農業生產也是如此，從人力到機械化、再到自動化與智慧化，不外乎是科技的迭次演化與設備的精進，進而提升農業生產效率，而在農事生產上，最常見的工具則為"農業機械"，如何善加應用，將是未來"精實農耕"可以走得多遠的關鍵。

根據 IDC 於 2020 年 6 月的全球農業調查 (Villars et al., 2020)，國際農業技術趨勢發展，受到 Covid-19 的疫情影響，人們專注進行防疫，進而影響全球農業的投資，無論在金額還是數量有明顯的下滑。隨著疫情的退散，產業逐漸復甦，農業部門著手將戰略方向，轉為建立以 IT 為基礎架構，兼具彈性與敏捷性的系統。近年來，物聯網、大數據、人工智慧、5G 以及雲端計算等技術已快速進步，且 IDC FutureScape 2021 更預測後續五年國際農業技術趨勢發展方向，包括數位平台、穿戴式設備、區塊鏈、無人機、IoT 及 AI 等軟硬體技術導入應用。這些技術在農業中已成為關鍵推動力，透過創新科技結合農業技術產生新型生產模式，農業勢必面臨從依賴經驗和人工操作的傳統模式轉型利用新技術，例如以數據驅動或稱為 AI 驅動的智慧農業，惟現在仍面臨許多挑戰。本文謹就精農生機之省工自動化農機、農業設施新技術及智慧農業相關研究發展及未來之挑戰與展望做評析，冀望有助於提升農業生產力和資源利用效率，並促進環境保護和永續發展的長期目標。

二、省工自動化農機

(一) 臺灣農業機械的多元戰場

1. 臺灣農業精實的關鍵所在 (蔡與陳，2020)

農業機械的發展，無論是在國內還是國外，若能將其發揮得宜，對農業生產量與規模皆具一定的影響，早年臺灣逐漸引入農業機械，發展至今代耕隊或機耕隊，其主要目的為減少人工的付出，從勞力密集的耕種方式，逐漸走向技術密集，而農業機械在這之中扮演著舉足輕重的地位，也因農業機械的多元化使用，可省工且降低辛勞程度，可誘使農民善用設備進行農事生產。

臺灣對於農業機械的使用，已有一定程度，在大型農業機械的使用上，多半仰賴引進，而臺灣優勢的眾多中小企業是撐起臺灣製造業的重要功臣，為了與發展農業機械的先進國家，做出市場區隔，進而研發適合臺灣農業生產的小型農業機具，並以高 C/P 值具出口優勢，也透過這些小型農業機具的使用，有效緩解產業缺工。

隨著世界政治與經濟的改變，臺灣也受影響，高齡化與少子化的趨勢愈加強烈，相對也影響農業機械的研發，同時面臨人才斷層的危機，研發新血的加入是一大解方。近年臺灣在先進製程與科技上，佔有許多的優勢，要發展智慧農業的生態系絕非難事。國外也針對數位化導入農業機械技術的開發有所著墨 (dos Reis et al., 2020)，而所衍生數位農業主要在農業生產環境中，從設備、場地、周遭環境、培植對象等狀況進行設計，許多不同類型的設備已朝向數位化，從自主機械的自動轉向到變率施噴的控制，以及各式感測器即時監控作物、環境、生產上的損失與設備運作參數等，而物聯網、電動車輛與小型自主機器人的開發是技術發展的突破口。總之，農業機械數位化發展，已是必然趨勢，過往在農業機械的開發，著重在力學領域上的研究與探討，討論土壤結構、機械扭矩、牽引力等。而現今的科技設備，結合電子電機感測、資通訊傳送，甚至到大數據分析等數位內涵，同時也提升開發業者導入不同專業領域的技術，讓產品更加創新。

2. 系統中系統思維的驅動主導

人們對於未來皆充滿著想像，而農業也是如此，現今的農業，如何透過科技來解決痛點，會是一個著力關鍵。未來農機的思維，應跳脫過往單打獨鬥的做法，改以群策群力的方式進行，相關概念如圖 1 所示，例如以農場管理系統為中心的系統，依據現地需求設計不同的子系統，各子系統間可以互相共享資訊，在農業機械部分，則將農業機械各部件資訊，進行數位化後聯網上傳，可傳送各式農業機械作業中的各式數據，匯集至農場設備系統中，依據現地環境因子，結合灌溉系統、作物資訊、天氣等數據，給予後續預測與決策建議。

這些方法改變過往的產業運作方式，農業機械反而成為整體系統的關鍵齒輪，帶動整個系統的運轉，從工程角度思考農業機械的未來，必須考量到系統整體性，跨領域整合處理及系統間相互自主溝通的能力，由此可見農業機械在其中的重要性，從鮮受重視的配角，逐漸轉為整個系統的驅動主導。

有關未來的農業機械，智慧跟聯網產品與農業機械結合，會是一大賣點，也為傳統的農業機械增添不一樣的色彩，打造智慧農機，不僅可增加農業機械本身運作的能力，也為產業提升競爭力，使產業的規模更加擴大。過往農業機械的產品都只有單一功能且單純化，如割稻機、插秧機、曳引機等，都是進行單一項工序處理的機械，也可稱之為離散產品 (discrete products)，演變至今必然轉變為與其他產品具有關聯性，這種關聯性產品也組成產品系統 (product systems)，當這些產品串聯在一起成為一個系統時，則稱之為系統的系統 (system of system)，此一情形有時也將造就無產品 (productless) 的發展，進而產生連結產品的系統將是核心優勢，而非產品本身 (Porter and Heppelmann, 2014)。

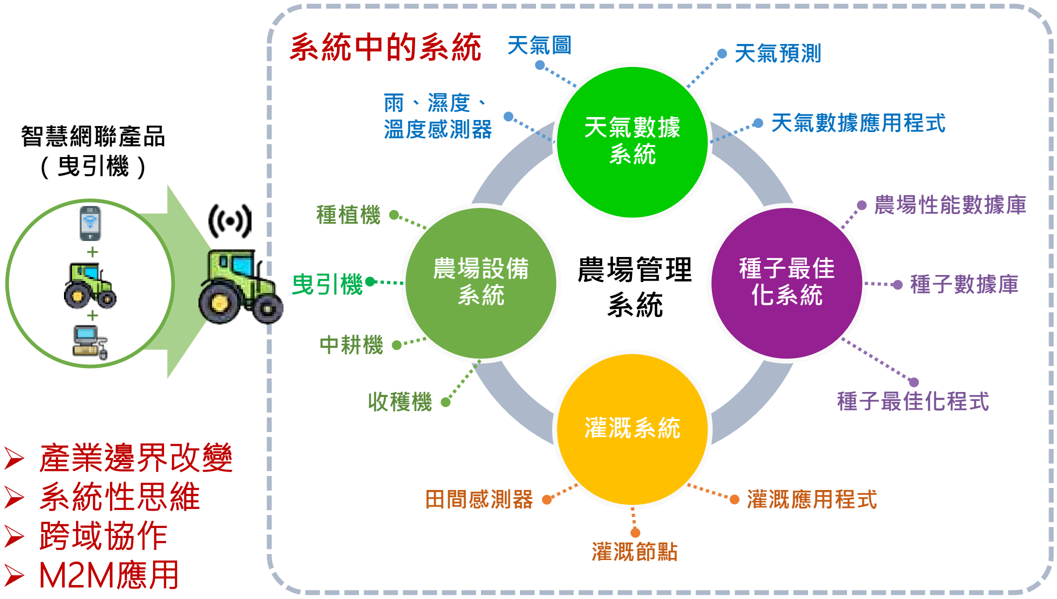


圖 1. 未來農機的系統思維

農業機械的產品，將不只是協助作業，更是希望能提升產能與效率，然而未來的農機，思維上需要多大程度的改變實未可知，丹麥農機銷售商協會於 2013 的若干前瞻見解，此時 (十年多後) 看來饒有趣味。從產業趨勢來看，為了增加農業機械的使用，其單位面積的總產量，勢必些許減少或不變，人口的減少，也造成使用者的減少，隨著多元社會與科技的發展，在服務概念、新技術、產業價值、生產永續性與投資機會方面勢必有所提升或更加精進；在農業機械的功能要求上，除了基本的作業能力外，其作業寬度與更多的功能將使其能在田間穿越完事；動力來源改善方面將從傳統燃油引擎轉變為倚靠電力驅動馬達的電動農機；而通訊裝置的裝設將讓農機設備與農場電腦系統間的溝通暢通無阻，以符合曳引機等作業機械內部通訊的要求 (inter-connectivity 內部連結性-ISOBUS) ；除了系統與設備的建立外，針對操作人員給予特別的教育訓練、自動控制操作與程式編輯知識、電力技術等，應列為優先項目，再從人員聘用、訓練與相關人員等，進一步進行訓練 (其中專業化知識是終結與全部)，尤其未來單一品牌或機型的服務、檢修或除錯處理並非必須。

而 Pichlmaier (2018) 指出的未來農業機械典範轉移趨勢值得注意，其包括將從單一數量 (magnitude) 的機械轉變為眾數 (multitude) 機械群體，運用通訊與系統連結的方式，讓小型機具與大型農業機械互相進行協作，分擔工作負載，以提高生產力與效能；從機械考量提升為作物本身思考，開發以作物為中心的解決方案，走出過往傳統機械設計與驅動的思維；將農業機械進行簡化設計，化複雜的操作成顯而易懂的簡單作業模式，簡化後多樣化架構與平台，有助於將低層級系統服務，轉變為自動化與智慧化，以減少人員操作的負擔與工作量，進而提升人員與機械的互動性。

綜觀農業機械未來的趨勢與開發目標，主要在於農業機械間溝通的連結性與資訊數位化，具備自動化與自主化的作業能力，再到能源的電氣化與 (燃料) 電池的運用，這些將是未來農業提升的原動力。

3. 農業精準操作的實踐利器

為了提升農業機械在田間作業時的自主性，農業部農業試驗所已在臺灣布建農業精密定位 RTK 網絡系統，35 個基站的設置，提供農業機械於田間作業時可達水平誤差約 2 公分與垂直誤差約 3 公分的精度，讓農機在開溝作畦、播種移植、除草噴藥至採收上，皆能精準到位完成。擁有精準定位的優勢，可結合各式感測器、與定位資訊，了解各植株的位置、生理狀況、土壤與植物本體情形，落實農民透過系統了解作物本體的資訊管理，以便作出後續決策。未來農機結合農事服務管理平台，在農業機械作業上可能實現逐株管理，其高精度定位有助於大規模農事施作實現智慧農業的境界，從提供農業機械的自動導引、自動轉向、收穫自動化、無人駕駛，甚至至多台無人駕駛協作。

4. 跟上潮流轉型小型農場機械人

臺灣目前使用的大型農業機械，多半仰賴進口，而臺灣主要的專長在於小型農業機械的開發，從機械化到 IT 導向至現今亟須發展的智慧化，其中實有絕佳的機會與商機，以最直接的生產效率提升而言，關鍵在於感測、資訊化網路創新技術融入智慧機械結合法規配套，應用於例如變率施噴機械、最佳化演算法與農耕創新上，甚至進而將投入與產出最佳化與環境共生等訴求結合創商機。

根據 FAO 報告，統計全球不到 1 公頃的農場，占農場比例約 72%。而 USDA 2012 年的農業普查，小規模家庭農場占美國農場總數的 88%。小型農場機器人的使用，可幫助不同類型的農場，呈現更多元的景觀，其最大好處在於為勞力短缺且錯綜複雜的多元農場提供應用，而非應用於巨大且單一栽培的作物。尤其小型農場機器人的使用主要輔助管理者作業，而非進而取代人力。現在無論農場主或種植者，皆發現投入的成本中，大型農業機械高達 90%。有鑑於此，英國哈珀·亞當斯大學 (Harper Adams University) 工程主任賽門·布萊克莫爾 (Simon Blackmore) 針對未來的農業生產模式，預言不久的將來，農場主與種植者將拋棄他們怪物尺寸的曳引機，而偏好更小、更智慧的精準機械 (Anderson, 2015)。而且像是在市場看到一堆萵苣等，皆是選擇性收穫 (selective harvesting)，然而大型農業機械於特殊作物收穫時，卻較無法精確執行，若小型機器人不僅能精準採收重量足夠或成熟的作物，同時也能在收穫點進行分級，此一方式明顯地增加產值與收益。農場機器人的小型化 (miniaturization) 是未來現地應用的趨勢且具實現機會，然而鼓勵小型且多元化的農場使用，在技術層面上仍有許多待突破的挑戰。

5. 農業活用機器視覺與語言模型的載具

隨著近年 AI 人工智慧的導入，更多科技的應用，使農業科技的發展更加茁壯，目前機器視覺多應用於自動化農業機械與收穫過程、溫室生產過程的數位化、有針對性與特殊場域的耕地種植 (精準農耕)、種子與農產品的分類與品檢、畜牧飼養等。此創新技術包括嵌入式視覺 (embedded vision)、規則化的機器視覺系統、深度學習、基於規則的系統和人工智慧系統結合、雲端技術、多光譜成像與 3D 立體視覺等應用，以減少人力檢視與檢測的負擔 (MVTec Software GmbH, 2021)。機器視覺之技術，可以解釋農作物、植被、食品與農產品光吸收特性的變化及外觀特徵，為特定問題找到合適解決方案。其保留無損、持久、快速的能力，有助減少監測種植過程的勞動力需求。尤其加上自動化可以減少錯誤並增加工作流程的靈活性以提高生產力和品質。其中的技術包含 RGB、光

譜影像、磁振造影、高光譜影像、多光譜影像及可見光影像等，經由標註特定目標，進行大量影像訓練後，可提升辨識精確度 (Shin et al., 2023)。

大型語言模型 (large language model, LLM) 技術的興起，輔助農業機械的整合與管理，從人工智慧 (AI) 和物聯網 (IoT) 技術在農業場合中的應用，已明顯提高農業機械與整體農場的生產效率，智慧農機的管理與研發，則是著重在物聯網、機器學習與人工智慧的系統，優化農業設備的操作與維護。但目前農業機械最大的問題在於管理與保修上，需要具備多領域的專業知識與技能，若能夠過智慧農業機械管理諮詢 (consultation on intelligent agricultural machinery management, CIAMM) (Johnson and Wilson, 2024)，可有效改變農業生產管理的效率，或是透過 GPT-4 等 LLM 的多輪提示工程 (包括具備系統性的思維、問題細緻化、鎖定範圍等)，為智慧農業機械管理，提供強而有力的工具。除此之外，農民商業網絡 (farmers business network, FBN) 所推出生成式人工智慧聊天機器人 Norm (Marston, 2023)，向種植者提供農學建議，包括農場設備、種植時間、土壤健康和許多其他農業領域的即時信息，此一機器人具備該領域的專業性與經驗，非一般網路資源可以比擬，因此透過專業性農業機械相關資料與資源整合，並借重大型語言模型可有效提升管理效能。

(二) 從繁星點點的問題，匯聚自然高效的生態運作，點亮農業的未來

1. 大手拉小手－從政策的規劃，到布局未來

日本農業相關政策值得關注，不只在各產業導入新技術，同樣的也在農業導入 4.0 技術，從生產到數據收集，進而輔助決策等措施，也與臺灣設施等農事生產產業不謀而合，但日本政府具備相對應的前瞻思維，4.0 的政策勢必會走向下一代 5.0 技術，而日本的農業 5.0 政策，增加機器人與人工智慧的技術，此一方案不外乎是建立於 4.0 的基礎之上，透過萬物感測與連網及數據的收集，作為人工智慧演算分析的基石，使農業生產管理上具備系統自我思考的功能，並將其決策與策略，驅動機器人動作，讓農場生產設備執行上更加完善，預期達到無人化的目標。隨著國際相關環境目標的訂定，淨零永續為世界共同努力的目標，日本社會 5.0 政策值得借鏡 (圖 2)，在農事生產上，從產製儲銷一連串的作為上，以永續發展為目標 (SDG) 進行努力，在農場生產上直接導入 5.0 技術，以節省能源耗用、勞動力付出、無人化等作為，減少碳排放以達到社會 5.0 以人為本之目的。

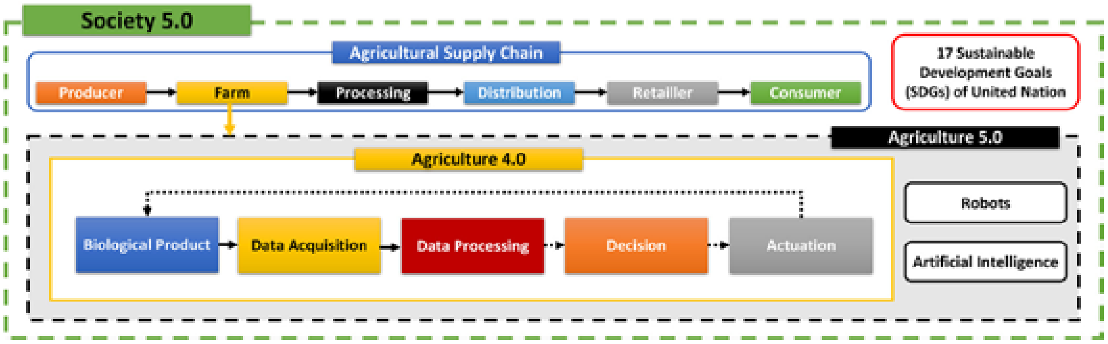


圖 2. 日本將農業 5.0 融入社會 5.0 (摘錄自 Debauche et al., 2022)

2. 預決策未來決策，關鍵在技術建設-善用先進技術工具建構團隊戰略

科技的發展不外乎是新技術的演變與創新，而在未來人工智慧的技術運用，必定是各行各業仰賴的決戰因子之一，人工智慧包含機器學習、深度學習到生成式 AI 等，甚至到未來的強化學習或 Q-Learning 等大量的技術，若要拓展人工智慧的應用，在農業上數據的可用性與模型品質會是關鍵。

現今除了人工智慧可以協助影像辨識、數據分析之外，ChatGPT 的出現，更是人工智慧應用的更進一步，透過大量的資料累積，加速資料的搜索、彙整及呈現，讓人們對於知識的吸取，有著更大的幫助，尤其在農業上，各專業領域知識相當繁多，舉凡作物選擇與輪作管理、灌溉管理、病蟲害管理、農業機械優化、精準農耕、永續實踐及教育研究等，都有相當大的助益。站在這些既有資料的基礎，ChatGPT 倘運用得當可對農業產業產生巨大且深遠影響 (Ismail, 2023)。ChatGPT 具備一定程度的思考能力且呈現的資料具備歸納與邏輯性，在農業機械上，透過機械的使用提高效率與減少勞動成本都是研究與應用的目標，許多先進關鍵技術如自主機械、精準農耕機械、無人機與遙測影像、電動或混合動力機械、機器人等，透過 ChatGPT 給予不一樣的思維與參考資料的提供，有助於增進開發的速度。

而有系統規劃性的技術發展，會是建立人工智慧技術的措施之一，建立有關智慧農業的生態系拼圖，並進行串聯，在硬體建立方面包含感測數據產生、通訊裝置、數據庫建立、伺服裝置、運算裝置、閘道裝置、驅動裝置等，再到軟體管理，包含數據庫管理、通訊技術建立、前後台管理建立、行動應用軟體建立、演算法與前處理技術、模型管理、預決策分析到可視化呈現等，都是由不同專長的人員與單位，逐一建立，如何串接形成一個生態系，將會是未來的關鍵。

3. 邁開步伐往前走的時候，別忘記回頭看看社會的感受-農業科技的發展與潛在障礙

在使用科技資源時，往往都是財力相當雄厚或富有資源者，才能享有科技帶來的便利，但農村的科技資源，較為落後，如何公平的使用，且人人都能利用，以及農民有知的權利，都是導入人工智慧、自主機器人與生態系等，必須要關注的議題。農事生產所產生的資料數據，皆為農民的經驗與智慧，因此資料的所有權、管理、整合使用，甚至到未來獲利後的分潤，之間的倫理與公平性需要納入考量，再者便是商業模式下的農民，應該何去何從，現行的商業模式有許多種，農民究竟是被歸類於哪一邊，農民面臨著許多的未知，但這也並不是壞事，相較於新興農業科技的運用，反而是簡易生產與穩定獲利，才是農民真正想要的。

因此目前世界上的農民，其分類相當極端，一是相信科技所帶來的確信感，另一種則是相信直覺，使用科技的農民，其未來可能被納入大型商業農場採用，其中分成兩種系統，在封閉系統上，大面積耕作者或大量監督管理規則下的農民，依賴科技與技術專家的輔助，對於自身的成長與學習會有隱形知識的喪失。另一個則是開放的系統，主要透過高度的協作，由外而內進行影響，運用提高食品安全的來源、動物福祉與環境透明度等資訊化方式，讓農民與消費者間更能互相了解，進而提升產品的銷售。兩種作法皆有其利弊，如何運用仍取決於場域環境與農民意願，值得後續關注。

如何善用科技，讓農民能夠參與技術及治理商業模式的設計，以實現以數位方式獲益的模式。其中運用數位技術進行整合，以數據為憑，避免不同利益分配上的問題；善用情境的方式進行引導，其中含有知識宣達的用意，讓農民有更多的案例與方案可作為參考，同時提供驗證測試及決策支援，透過數據導入進行驗證測試，讓農民認識數據與人工智慧的應用有立竿見影的效果，並使其更加信服，讓數位衍生利用更加有效。

4. 當世界不斷快速變化，想想農機還能做什麼-氣候調適到淨零排放

有關農業生產中大氣二氧化碳的產生與匯存並存，生產時作業機具、肥料、土壤及畜牧所產生的二氧化碳，隨著淨零碳排的概念興起而受到重視，如何減少二氧化碳來源及增加匯存皆是目前需要關注的。而負排放農耕 (negative emission farming) 意謂增加匯存和減少來源，以便使大氣中二氧化碳顯著縮減，遠比僅抵消從農場操作的排放為多，因此，伴隨土壤的碳封存，提高農作物的光合作用是主要匯存。其中減低 (汽) 柴油油耗，改採用電動農機或機器人的做法逐漸躍上檯面。現代太陽能電動農業機械的廣泛部署面臨兩個主要挑戰是高昂的初始成本 (主要與太陽能光板模組和電池存儲單元相關)，以及電力存儲技術的缺陷。由於在室外條件下運行，也應考慮環境參數對與農業機械整合太陽能模組性能的影響，包括表面溫度、灰塵積聚、陰影和空氣濕度。進一步的技術改進、成本降低和確保政府激勵措施可以促進這些永續機器的實際布署 (蔡與施, 2025)。

在栽培管理上，零排放 (zero-emission) 栽培的意識也逐漸升起，為減少營養物質與農藥排放量的法規已迫使園藝產業採用水資源管理的新方法，其中零排放溫室栽培，將所有排放水循環再使用。而水資源的利用在植物的栽培管理上，若能搭配循環水耕栽培則可節省肥灌與人力，西班牙新穎種植系統 (new growing system, NGS) 的無土循環水耕栽培系統非常適合所有類型的園藝作物，無論是小型或大型，可安裝在室外或溫室的多個地點和地形。

在耕作上，保護性耕犁即盡量減少犁耙土地，將作物殘株遺留在土面上。此種耕作方式因耕作次數減少，可節省勞力與能源，降低生產成本，減少土壤壓實。又因隨土壤與土壤水分管理改良，可增加土壤水分之吸收與保蓄，防止沖刷與風蝕，提高土地利用價值，保護性耕犁為現代化農業作業上的一種變革，具保育水土、節省勞力與能源的功能，相當符合當前之需求。但目前仍有雜草之控制、適用於殘株之耕種機具、殘株對於作物品種之影響、發芽力、生長與產量、土壤理化性質與微生物的影響、播種方式與病蟲害的防治等議題待妥善處理，皆為未來人工智慧技術可以導入的地方。

在資源物循環使用上，有機資材收集與循環利用之生物炭 (biochar) 是機會，生物碳是由有機物質 (如農業廢棄物或是植體等生質物) 所製備的碳材料，其可用來增加土壤的固碳能力並改善其養分含量與水分的滯留能力。生物碳亦可保持土壤中的營養成分與增加陽離子交換能力、降低土壤酸度、改善土壤結構，減少非二氧化碳溫室氣體的釋放。然而生物炭的品質可能因所使用的生物性質與生產方式有所差異，仍有待努力。

農業機械是融合多項專業與洞見的農業技術操作，為未來次世代農耕效率與永續性提升的不二法門，也是隨著科技進步、智慧農業之精進、後疫情之新常態、氣候變遷及淨零碳排等迫切性議題的最佳武器，雖有諸多挑戰但也同時帶來眾多機會。

三、農業設施新技術

(一) 環控農業的潛力

1. 小規模農場與環控農業的未來發展

在全球化與城市化快速發展的背景下，小規模農場的潛力日益受到重視。這些農場不僅能提供新鮮的本地農產品，還在環境永續性和經濟效益方面發揮重要作用。隨著科技進步，環控農業技術的應用為小規模農場的發展開創新的機會。在小規模農場的未來發展方向方面，應針對設施型農業的規劃目標、推動策略與措施，聚焦於以下四大方向：A. 溫室結構的整體設計，B. 農企業發展策略，C. 設施農業的推動措施與 D. 產銷供應效益的最佳化。特別是如何利用現代農業技術提升生產力與市場競爭力，將成為關鍵議題。

2. 面對氣候挑戰的策略

近年來，全球暖化、颱風和豪雨等極端天氣頻繁發生，導致農業設施受損、作物減產，並引發菜價波動及供應不穩等問題。為應對這些挑戰，推動建設抗颱耐用的「強固型溫網室」成為重要目標。透過輔導溫網室設施的建置及結構設計的轉型，結合過往經驗進行數據分析與集中設置設施，不僅能擴大生產規模與經營效率，還能穩定蔬果供需。此外，成立專業技術服務團隊和搭建人力培訓體系，有助於及時提供專業諮詢，提升溫網室搭建品質。

為進一步減輕農民負擔，可降低貸款利率或增加貸款成數，同時促進農企業與小農的互助合作，構建從生產到銷售的完整供應鏈。這些措施既有助於農業創新與轉型，也為未來小規模農場的永續發展奠定基礎。

3. 環控農業的潛力與技術應用

環控農業 (controlled environment agriculture, CEA) 被認為是小規模農場的未來。這一農業模式能在多種環境條件下穩定運作，保護作物免受惡劣天氣影響，同時為作物提供理想的生長條件。在城市中心等人口密集地區，小規模農耕的靈活性使其更能適應氣候變化，並提高生產韌性。這些小型農場能提供新鮮、價格合理的食品，同時實現永續性，並以更低的成本提升產量與經濟效益。

環控農業的優勢在於不僅依賴正確的硬體設施，還需要強大的技術支持與數據驅動的栽培管理。例如，以色列 Teshuva Agriculture Projects 推出的應用程式 i-Droponics，能讓水耕栽培種植者通過手機全天候掌控 500 平方公尺內的溫室作物栽培資訊 (Sijmonsma, 2020)。這類數位化工具讓農民能更高效地管理資源，並顯著提升生產力與市場競爭力。

4. 荷蘭外來植物的溫室農業實現

荷蘭一直以其先進的溫室技術著稱。幾年前，來自 Venlo 的 Sunfresh 種植者與 Wageningen UR 聯手，在 Bleiswijk 的測試溫室中進行試驗，探索適合荷蘭溫室種植的外來植物。研究發現，臺灣木瓜最適合當地條件。木瓜從著果到成熟需約 5 個月，栽培週期可達兩年半至三年。從一公頃人工光照溫室開始，種植者全年種植並根據客戶需求採

收即食水果。截至 2020 年 10 月 28 日，在未使用任何農藥的情況下，實現持續穩定的高品質木瓜生產 (Erzeugergroßmarkt Weyers GmbH, 2020)。這一案例展示溫室技術結合創新管理的成功範例，體現數據驅動的栽培方式如何幫助農業突破氣候和技術限制，並創造永續的經濟價值，雖然仍有經濟效益待斟酌的問題，但卻給素以亞熱帶與熱帶栽培見長的我們極大競爭警訊。

(二) 次世代溫室種植 (next generation growing, NGG) 概念的興起

1. 荷蘭數據驅動溫室技術的發展與應用

過去 10 至 15 年間，荷蘭致力於開發一套專為溫室栽培設計的環境控制技術，並由荷蘭合作種植者協會 (Dutch Cooperative Grower Association) 推動導入溫室產業。Geelen et al. (2019) 提出一種科學性與整合性的數據驅動方法，其核心目標包括：A.改善光合作用條件：增強植物健康，以促進作物生長與 B.降低能源與熱量消耗：最大程度地減少種植成本。

這一方法的基礎是植物賦能種植 (growing by plant empowerment, GPE)，或稱次世代種植 (NGG)，該技術是一種綜合溫室園藝作物的新種植模式，著重於物理與植物生理原理的結合，而非依賴個人經驗作為種植決策依據。其核心理念是平衡資源利用，確保植物在最佳條件下生長，以實現高品質作物的永續生產。

透過持續監測植物生長平衡狀況並進行相應調控，GPE 系統能有效利用高品質的散射光、水分、養分和二氧化碳，優化植物生長環境。控制策略基於每日溫度與每日總受光量 (光合有效輻射 photosynthetically active radiation，PAR)，這兩個數值的比率稱為溫度對光輻射比率 (patio temperature to radiation, RTR) (蔡，2020)。透過每日計算光總量，調整平均每日溫度，確保作物在獲得足夠光線的條件下維持最佳形態，從而提升產量與品質。

2. 自主溫室挑戰與 GPE 成效

在 2020 年的自主溫室挑戰 (autonomous greenhouse challenge) 中，研究團隊運用數據科學演算法 (人工智慧) 進行遠程種植，成功生產出高品質的櫻桃番茄，並顯著降低原料和能源消耗。此技術的實用性在墨西哥 United Farms 的試驗中得到進一步驗證 (plant empowerment, 2020)。該農場採用 GPE 原則與傳統商業種植方法進行為期兩年的比較試驗，結果顯示：A. 灌溉效率提高 14%；B. 肥料使用減少 31%；C. 害蟲綜合防治 (IPM) 成本降低 52%；D.加熱燃氣消耗減少 13.8%；E 作物產量增加 13.63%；以及利潤提升 15%。

這些成果證明數據驅動種植 (data-driven growing, DDG) 的優勢，幫助種植者更有效地運用創造力、知識、技能與創新，不斷提升業務目標。展望未來 20 年，透過建造高度自動化的高品質溫室，並採用結構化、數據驅動的種植策略及風險辨別的自動化技術，溫室種植將變得更加自主化、拓展性更強，並有效提升產能，突破對氣候環境威脅與高技能種植者的依賴。

(三) AI 溫室系統：未來農業的創新與永續發展

隨著人口外移與農村老齡化，擁有豐富經驗和專業技能的種植者逐漸減少，農業文化面臨傳承斷層，能夠經營溫室的人數也快速下降。傳統農業依賴世代傳承，由經驗豐富的長輩指導種植、施肥及病蟲害防治，並主要採用手工及手動方式栽培作物和調控環境設備。然而，由於缺乏可支持的數據，對栽培管理效益的評估無法使用科學數據與操作方式當作佐證。

隨著自動化技術的發展，農業正逐步邁向自主種植的時代。數據平台與人工智慧 (AI) 系統能在無需人為干預的情況下，實現氣候管理與資源配置的優化，不僅提高生產效率，還減少對專業人員的依賴。荷蘭 Blue Radix 公司與 Microsoft 合作開發一款作物控制器，利用 Azure 平台在無需人為干預的情況下，自動優化並控制溫室內的氣候與灌溉 (決策自動化)。AI 技術未來有望進一步結合勞動力、物流和市場行銷的演算法，實現農業操作的全面優化，開創高效永續的農業新格局。

AI 溫室系統作為未來農業的核心創新技術，將在自主能源與氣候管理方面發揮關鍵作用 (Horne, 2021)。目前，荷蘭已有 140 至 150 個頂級溫室採用自主能源管理系統，該系統可根據光照策略、未來四天氣候預測、能源價格、熱緩衝器水平等多種因素，結合約 100 個溫室的設置值及氣候數據，進行每 15 分鐘一次的分析、計算與調控。透過控制氣候計算機及相關設備，系統將能源與氣候管理自動化結合，實現最佳產量與最低成本的平衡決策。

(四) 日本智慧型人工光源植物工廠：基於 AI 的農業數據科學與戶外及 PFAL 作物育種策略

透過對表型、基因體、資源投入/產出與管理等大數據的分析，實現多作物需求的智能化生產。在全人工光型植物工廠 (plant factory with artificial lighting, PFAL) 中，低雜訊的大數據集可用於機器學習、多元統計分析及機理建模。PFAL 歷經三波技術演進，先後採用高壓鈉燈 (high-pressure sodium, HPS)、螢光燈 (fluorescent lamp, FL) 及發光二極管 (light-emitting diode, LED，涵蓋紫外光、藍光、綠光、紅光、遠紅外光及白光) 作為光源。自 2020 年起，植物工廠逐步進入第四波技術階段，著重基於物候學的植物生產與育種，並融入人工智慧 (AI)、物聯網 (IoT)、資訊與通信技術 (ICT)、大數據分析、自動化、機器人技術及雷射光應用 (蔡，2022)。

PFAL 的環境控制系統能根據作物的生長週期及其不同階段的生理需求，精準調控最適栽培條件，從而實現全年無休的穩定生產，突破季節與地域的限制，實現規格化、量產化與品質穩定化的作物生產模式。在氣候變遷及糧食短缺等潛在危機下，這種創新的生產系統可提供解決方案，讓農民透過先進的環境控制技術，用更低的成本與更少的投入實現更高的產量。

展望未來，隨著自動化技術的進一步發展，未來農業可能朝向自主種植的方向邁進。數據平台與人工智慧系統能在無需人為干預的情況下，優化氣候管理與資源配置，從而提升生產效率並降低對專業人員的依賴，展現出極大的發展潛力。

四、智慧農業

(一) 智慧農業發展與關鍵技術應用

1. 臺灣智慧農業發展

為因應臺灣農業長期面臨勞動力下降、極端氣候影響，農業部配合國家政策推動智慧農業計畫，以「效率、安全、低風險」為願景，整合產官學研跨領域合作能量，共同推動智慧農業技術發展。智慧農業第一期計畫 (2017-2022 年) 將主軸定位為「智慧生產」與「數位服務」兩大面向，期透過智慧化生產管理，突破小農單打獨鬥之困境，提升農業整體生產效率與量能；並藉由物聯網與大數據分析技術，建構主動式全方位農業消費/服務平臺，滿足所有農業利益關係人需求，提高消費者對農產品安全之信賴感。第一期計畫擇定以十大領航產業 (蘭花、種苗、菇類、稻作、農業設施、外銷主力作物、養殖漁、海洋漁、家禽、家畜等產業)，導入人機協同、推動智農聯盟、建構資訊平臺與風險預警系統等，匯集農漁畜產業生產過程所需共通性資料形成大數據水庫，為產業提供更方便的農業資料獲取途徑。

為了將智慧農業第一期計畫良好的成果商轉，實現落地應用，以及利用智慧科技協助整體產業鏈建立健全的農業生態系，2023 年起展開第二期「智慧農業躍升普及計畫」，藉由物聯網 (IoT) 與人工智慧 (AI) 等技術，促進省工、善用感測器進行數據分析、並串聯智慧供應鏈，建立智農產業網絡，以「產銷智動化、服務加值化、產業網絡化」為策略目標，攜手經濟部提出適用解決方案，同時也鼓勵與地方縣市政府合作，加速科研擴散應用，協助智農技術實際運用。目前已建立稻作智農生態系，其中「葉稻熱病警示技術」與「褐飛蝨警示技術」，已授權資訊服務業者，將新技術導入至原有的農事服務資訊平臺中，提升其價值與競爭力，進而吸引更多農民與農企業使用；成立設施蔬菜生態系，組建整合數家廠商合作，透過示範場域推廣，並與桃園市農業局及新竹縣農業處推動設施蔬菜「自動灌溉技術」落地擴展，為節約水資源提供範例。

2. 農業生態系發展國外案例

我國農業生態系的發展仍處於萌芽階段，下列將針對國外案例進行介紹，以提供後續推動之參考。

(1) 美國智能 AI 農業合作社複合生態系

美國智能 AI 農業合作社透過科技創新與社群合作，為未來農業提供一個高效率的發展模式 (Chukkapalli et al., 2020)。此體系利用 AI、物聯網 (IoT)、大數據和自動化技術，實現資源共享、精準決策和生產自動化。AI 技術幫助合作社進行數據驅動的決策管理，從環境監測到市場需求預測，協助農民最大化生產效率並減少浪費，農業合作社內的成員共享數據，透過 AI 整合分析來統一管理資源，優化種植策略。此外，AI 技術與機器人和自動化設備相結合，完成播種、施肥和採收等繁重任務，降低人力需求。這種合作農業結構對小規模農民尤為有利，因為它提供先進技術和共享資源的使用機會，促進農村社區的經濟永續性。尤其透過合作社，小農始可成為智慧農業的一部分，並保留在市場上，做法值得借鏡。

(2) 新加坡倡議的食品追溯生態系

新加坡倡議的食品追溯生態系統 (Lin et al., 2020)，透過技術創新提升食品安全和供應鏈透明化，增強消費者信任。該系統整合區塊鏈、物聯網 (IoT) 和人工智慧 (AI)，實現從生產到消費的全程追蹤。區塊鏈技術記錄供應鏈中每個環節的數據，一旦上鏈不可篡改，確保數據安全與透明。物聯網技術透過感測器和 RFID 實時監控運輸和儲存條件，確保溫度和濕度符合標準，避免食品品質下降；消費者可掃描產品快速反應碼查看來源、加工和運輸信息，增加透明度和信任感。AI 技術則透過大數據分析，預測和監控供應鏈中的潛在風險，預防安全問題，這一系統以數位化技術加強食品供應鏈的安全性和透明性，為消費者提供可靠的食品安全保障，做法值得效法。

3. 智慧農業生態系技術拼圖與挑戰

Sharma et al. (2022) 指出智慧農業生態系的拼圖 (圖 3) 主要涵蓋物聯網 (internet-of-things)、雲霧邊緣運算 (cloud-edge-fog computing)、網宇實體系統 (cyber Physical Systems)、大數據 (big data)、機器人和自主系統 (robotics and autonomous systems)、區塊鏈 (blockchain)、機器學習 (machine Learning)、深度學習 (deep Learning)、群體智慧 (swarm intelligence) 與生成對抗網路 (generative adversarial networks, GAN) 等十項現代關鍵技術，並可分數據擷取與生成過程處理兩區塊。該研究同時指出每項技術的局限性及其在實施過程中面臨的挑戰。反思臺灣在智慧農業技術研發，除政府研究單位外，應結合大專院校研發能量，以更全面發展智慧農業關鍵技術 (尤其生成過程處理部分)。此外，網宇實體系統、雲霧邊緣運算、物聯網和大數據等新興技術，正為智慧農業帶來革命性變革。然而，這些技術在即時應用中，仍受到網路連接、安全性、成本及高運算資源需求等限制，這些挑戰在全球範圍內仍有待解決。

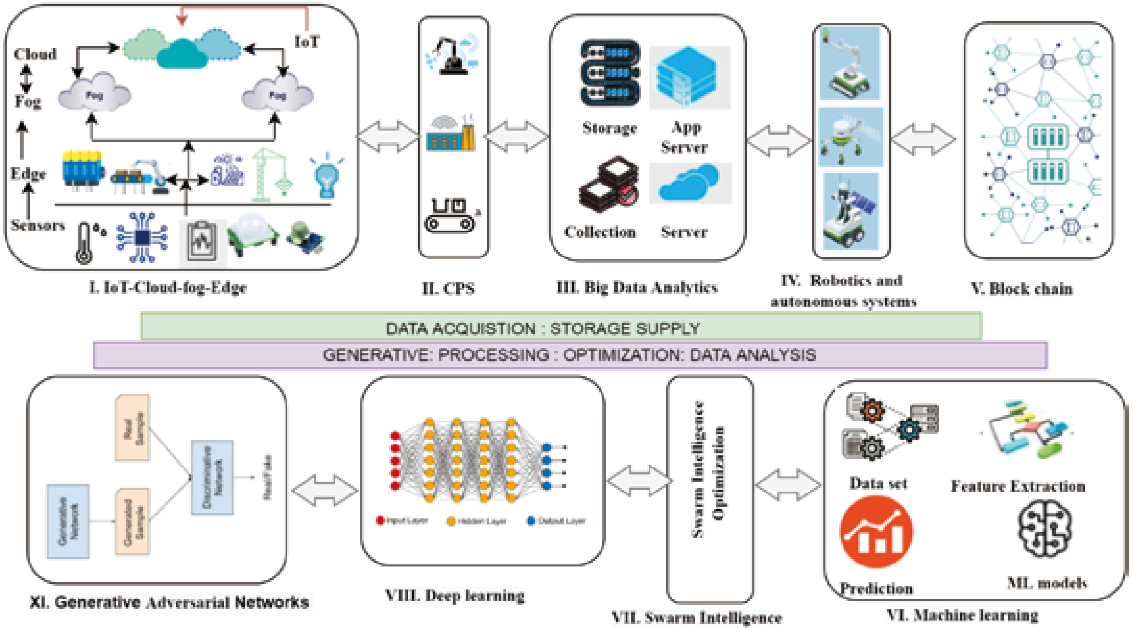


圖 3. 智慧農業領域的生態系統 (摘錄自 Sharma et al., 2022)

(1) 人工智慧於智慧農業的發展方向與應用

根據 Tran et al. (2024) 的研究，人工智慧將成為未來全球研發的關鍵技術之一。如同站在既有資料的基礎，得當運用數位技術，將會對農業工程產業產生深遠而重大的影響 (Ismail, 2023)，AI 技術能有效提升農業生產效率、資源利用率以及農產品質。以下是幾個主要的研發方向，可將人工智慧與臺灣的農業特色結合，促進智慧農業的創新發展：

A. 精準農業與數據分析

未來智慧農業將廣泛應用 AI 技術，實現精準管理。透過衛星、無人機和感測器收集的農田數據，AI 能分析土壤濕度、溫度及病蟲害分布，並監控作物健康狀態。這種精準分析有助於農民制定最佳的灌溉、施肥與除害策略，降低資源浪費，提升生產效率。

B. 作物病蟲害的智能識別與預警

利用機器學習和圖像識別技術，AI 能實時監控作物生長，快速識別病蟲害。系統將農田圖像與疾病數據庫比對，精確診斷作物健康並提供預防措施，這不僅減少農藥使用，還能提升作物產量與品質。

C. 自動化農業機器人

自動化機器人能協助完成播種、除草、施肥、採收等繁重且重複的工作。透過深度學習和強化學習技術，機器人可以優化操作模式，提升工作效率。例如，自動化採收機器人能根據作物的成熟度進行選擇性收穫，避免傳統機械摘採對作物造成損傷。

D. 氣候變遷下的智能決策系統

隨著氣候變遷對農業影響的加劇，AI 技術能協助農民應對極端氣候。透過結合氣象數據、歷史生產資料和作物生長模型，AI 提供氣候風險評估及最佳種植時間建議，幫助降低氣候異常導致的損失，提升農業適應力。

E. 智慧溫室與自動化農業設施

AI 技術未來將加強智慧溫室的管理能力，透過自動控制溫度、濕度、光照等環境因素，創造最適合作物生長的條件。AI 系統可以根據實時數據進行決策，調整內部環境，降低能源消耗，同時提高生產效率。對於臺灣地狹人稠且土地資源有限的現況尤為重要，特別是在都市農業和垂直農業中，智慧溫室能有效增加單位面積的產出。

F. 農產品供應鏈的智能管理

利用 AI 技術優化農產品供應鏈，從生產到儲存及運輸的每個環節均可進行數據追蹤與預測分析。透過 AI 演算法預測市場需求，農民能更準確地調整生產規模，減少浪費，提高供應鏈效率。這對於臺灣外銷農產品的品質保證及物流時間控制尤為重要，確保產品新鮮度及市場競爭力。

G. 區塊鏈與 AI 結合的農產品溯源系統

AI 結合區塊鏈技術，建構透明且可靠的農產品溯源系統。將生產、加工、運輸等環節的數據上鏈，並透過 AI 進行數據分析與預測，提升農產品品質管理與監控能力。對消費者而言，這樣的溯源系統增強對產品品質與安全的信任感，特別適用於有機農產品及外銷市場的高價值農產品。

(二) 發展結果與討論

1. 科技採用率及採用障礙的關鍵問題

數位農業大規模實施的現狀其實是一個緩慢推進的過程 (Shepherd et al., 2020)。儘管數位技術展現巨大的潛力，過去的經驗顯示，其採用速度往往較為遲緩。近期研究指出，創造社會臨界點所需的採用者比例約為相關人口的 25%，一旦達到這個比例，少數採用者 (如精準農業的先驅) 就能觸發更大範圍的社會行為連鎖變化。例如：在荷蘭，僅有約 20% 的酪農為乳牛安裝感測器以檢測發情；在美國，僅約 20% 的農民採用可變速率技術；曳引機自動導航技術 (Autosteer) 在澳洲花了 22 年時間，才被 77% 的穀物種植者採用；即便作物建模技術已發展超過 40 年，實際能為農場帶來顯著效益的案例仍然寥寥無幾；過去 25 年中，玉米遙測技術的進展也十分有限。儘管多位研究者已證實精準農業帶來的經濟和環境效益，但學術調查和專業報告中的採用率仍然偏低。

數位農業技術雖具潛力，但農民的採用速度相對緩慢，主要因社會倫理問題，如數據所有權、資料治理、使用與信任等。農民對資料的所有權、透明度和公平性感到擔憂，且對資料治理缺乏信任。此外，競爭的商業模式亦帶來挑戰，如商業公司嘗試將大數據貨幣化，而公共機構則發布開放數據。價值鏈中的直接聯結既挑戰現有的配送模式，也為新模式創造機會。在封閉系統中，農民成為價值鏈一部分；而在開放系統中，則強調協作與靈活性。

此外數位農業的採用受限於高投資成本、技術複雜性、適用性問題及效益不明等因素。類似情形有技術成本限制愛爾蘭智能農耕的發展，以及技術整合困難和不明確的附加價值阻礙歐洲智慧農業的推進。另外，技術的採用與公司的規模和農民教育水平有關，通常其由教育程度較高、熟悉精準農業且經營較大農場的農民採用，以提高生產力並應對市場競爭與壓力 (Shepherd et al., 2020)。

紐西蘭的經驗顯示，數位農業可以成為推動多種「良好耕作」形式的工具，進而影響農民對這些技術與其農業身分契合度的看法。在這種背景下，「好農民」是那些遵循數據而非直覺而進行決策的農民，這些技術更有可能被大規模商業化農場所採用。其可能導致的兩個極端情況一如前述為：在封閉系統、大型農場或依賴規範的模式下，農民日益依賴技術專家，導致隱性知識喪失，變得更加依賴科技進行決策；而在開放且高度協作的系統下，透過數位農業可提高食品來源、動物福祉及環境透明度，並促進農民和消費者間共享資訊，以及由農民直接向消費者提供農產品。以紐西蘭 (牛奶和紅肉的重要出口國) 的生物經濟故事為例，近年來，全球需求提升，且受到環境變化及消費者需求多樣化的影響，加重法規壓力和成本負擔，但商品價格可能持續下降。然而，數位技術的進步使資訊的收集、管理及轉移變得更容易，並能有效支持決策的制定，提供應對未來情境的機會。例如田間作業紀錄的數位化、環境監測的紀錄，以及根據農場監測數據計算碳足跡等，都能減輕農民的報告負擔，並作為消費者和主管機關的資料來源佐證。更重要的是，數位農業的關鍵優勢在於，這些資訊可以被整合，不僅能支持決策制定，還能向監管機構或加工商證明合規性，同時也能向消費者展示產品的來源和品質 (Shepherd et al., 2020)。

2. 有效利用科學幫助農業的紐西蘭策略思維，值得借鏡

人們期望數位技術能解決糧食永續生產的挑戰，並提供新的解決方案。然而，若期望實現數位技術帶來的預期效益，還有幾個問題需要解決，例如：這些技術是否有效、有哪些科學證據能讓消費者和主管機關相信這些技術的預期效益，以及這些技術所帶來的不同效益，應如何在技術供應商、農民、主管機關和價值鏈的其他關係人間公平分配等問題。

Shepherd et al. (2020) 指出，首先需克服的關鍵障礙是社會倫理問題，即數據所有權、數據透明度與信任等議題。解決這些問題的關鍵是讓農民和其他相關利害關係人參與技術、新治理及商業模式的設計，以實現數位農業的預期效益。這不僅能提高創新過程的透明度，增強利害關係人對技術的信任，更能確保技術的適用性，同時考量農民在農業中的角色、做法和身份等更廣泛的影響。

此外，解決關鍵技術之優先事項，還包含以下幾點 (Shepherd et al., 2020) 值得借鏡：

(1) **展示數位技術整合方案的效益分布**：雖然精準農業可帶來經濟及環境效益，多數農民仍表示，缺乏明確的價值主張是採用數位農業的障礙。因此，需要對技術應用的成本與效益進行更廣泛的分析，包括單一技術和整合技術套件的應用，且該價值評估應在計畫一開始時就進行，並應考量整合數位技術方案對農民生活方式的影響。

(2) **展示更多「可操作知識」案例**：展示從感測器和分析工具中獲得的「可操作知識」之實際應用案例，並理解實際的「管理單位大小」。例如，雖然感測器能夠以平方公尺之解析度來量測變異並進行分析，但需考量農民是否具備相同解析度的設備，若設備 (如灌溉器、收穫機或施噴器) 之價格比感測器昂貴許多，可能會成為技術採用的障礙。

(3) **提供支援驗證**：驗證該技術是否如預期運作相對簡單，例如透過觀察和化學分析來驗證感測器的預測結果。然而，當涉及電腦輔助決策時，驗證的難度會增加，因為需要證明數位化方案在該情境下的表現優於其他替代選項。

(4) **發展更多 (大型) 數據和電腦輔助決策之範例**：目前仍需由使用者自行解讀數據並做出決策，且目前正開發的電腦生成決策系統，仍高度依賴過去的科學研究。然而，人工智慧支持的決策可以增強農業創新者的信心，進而促進產品的開發，這些產品服務於明確且經過驗證的利基市場，在推出前已被證實具有成功的潛力。

(5) **發展價值鏈的整合解決方案**：數位技術應用於整個價值鏈中，可能在各個環節創造額外價值。例如，透過線上銷售縮短供應鏈，並實現更精準的農業生產。然而，整個價值鏈的業務模式也需要改變，數位農業能否提供整合解決方案，取決於數據治理和商業模式的有效性，這些模式需兼顧隱私與安全，同時促進數據整合以產生實用知識，並確保價值鏈中不同利益相關者間公平分享收益。這樣的模式將支持數據和訊息的共享，並為所有參與者創造更多價值。

(6) **改變工作方式**：如表 1 所示。

五、結語

(一) 農業科研未來研究領域與問題考量

關於農業科技的未來發展方向，Spanaki et al. (2022) 提出「農場管理週期與營運」、「分析平台」、「感測器技術」、「機器人技術」等幾個關鍵領域值得關注，其中 AI 驅

動的農業科技結合智慧設備、感測器、大數據、無人機和機器人技術，透過智能監控和自動化操作，提供精準建議，從而提升農業營運效率。AI 驅動的數據分析平台能為農民提供種植建議和量身定制的解決方案，透過數據分析與機器學習，農業部門得以改變傳統作業方式，提高決策效率並預防潛在問題。這些技術逐步將農業推向智慧化發展，不僅提升經濟效益，更促進環境的永續性。值得進一步深入探討的考量因素同時也被提供，彙整如表 2。

有關在機器人技術領域中的問題考量，如何透過 3D 測繪和監控為每個農場的永續發展目標做出貢獻？例如：地理資訊系統 (GIS) 在智慧農業中的應用十分廣泛，GIS 技術為使用者提供一系列全面的工具和方法來管理地理空間資訊，主要使用領域包括土地適宜性評估與土地利用規劃、水資源管理、作物產量估算、土壤肥力評估、耕作模式監測、乾旱條件評估、病蟲害檢測和防治、精準農業技術實施以及肥料和雜草管理及供應鏈管理等 (Ghosh & Kumpatla, 2022; Raihan, 2024) 。透過陸地、水生和空中感測器、衛星與監控設備的協助，能收集並分析來自多來源的大量地理空間數據，這些數據可應用於智慧農業和作物防護。例如，為精進用於農業水土資源適宜性分析的智慧決策和地理空間支持系統 (Goel et al., 2021)，未來應進一步推動 GIS、計算機建模及多標準決策分析技術的整合，以提供更深入的見解。數據的連續性對於未來的分析與監測至關重要，從而有助於以平衡的方式實現永續發展。為了更有效應對這些挑戰，仍需透過成本較低的現代衛星，配備先進感測器以捕捉高解析度圖像。上述對應問題考量的技術應用，將是未來可參考之研究方向。

表 1. 科學家/機構改變工作方式取得科學數位化潛在效益的優先領域建議表 (Shepherd et al., 2020)

主題	優先事項	待解決的問題
科學數位化	擺脫還原論 (reductionist) 方法	新興的大數據、數據真實性和分析科學將需要非常不同的技能組合。
跨學科研究	走出數據孤島	解決方案超出單一學科或研究領域的範疇，需要跨學科和跨領域的方法，而數位化可以作為催化劑。
組織變革	重新評估商業模式	運用不斷進步的技術和人員技能，建立新的組織結構、流程和商業模式。目前用於取用和運用這些數據的研究，商業模式可能需要改變，以促進透明的數據共享。
	變化的速度	預測中的技術進步速度將對傳統 3 到 5 年的資金週期、年度資金申請以及實現科學進展所需的時間帶來挑戰。
	突破傳統模式	許多組織無法想像數位農業可能帶來的典範轉移，反而更加關注當前的情況，專注於戰術和操作層面。
	新技能和能力	在該領域運作的技能和技術能力，將需要能夠運用科學知識以有效捕捉、解釋、分享和應用數位資訊。
	新的夥伴關係	研究機構發展新技能和能力的方式之一，是透過與未合作的夥伴建立夥伴關係或合作，例如將農業科學家與科技公司連結起來 (形成技術生態系統)。
	專案管理	為了優化數位基礎項目的成果，所需的資金和項目管理方式可能會與傳統的資金方法不同，這些傳統方法通常是基於假設驅動的還原論科學，並在商業或公共資助的研究機構中運行。

(二) 智慧農業下一階段的發展方向－結合國家發展策略發展智慧農業破局而出

農業部於 2024 年提出施政願景「智慧」、「韌性」、「永續」、「安心」等四大主軸進行策略發展 (農業部，2024)。在「智慧」的主軸中，政府將加速智慧科技擴散帶動產業發展，提供數位整合服務，完善農業產業鏈，建構精準、效率、低經營風險的農業；在「韌性」面，加速農業基礎環境網絡佈建，推動氣候變遷調適作為，強化農業韌性，確保糧食安全；「永續」發展更是這個階段的重要目標，聚焦如何在滿足需求的同時保護環境，引領臺灣農業邁向資源、生態、低碳淨零；而「安心」主軸則是為了讓農民安心從農，農業部將更加完善農民福利體系，並復育幸福農村，提供農民多元發展機會；同時提高消費者對有機友善及產銷履歷產品品質的信賴，加強檢測與溯源量能，確保農產品安全，建立臺灣品牌價值，讓社會大眾支持臺灣農業。從上述之說明可知，智慧農業或智慧科技已被視為應對農業面臨問題的工具與方法，然而實際的運用落地，以及應用的範疇廣度，仍需更加的強化與擴大。

從國外的觀點來看，日本提出社會 5.0 的概念值得再反思。根據聯合國糧食及農業組織指出，到 2050 年，全球糧食產量必須增加 70% 才能滿足 97 億人口的需求。為應對這一挑戰並實現聯合國 17 個永續發展目標中的第 2 個目標－消除飢餓，實現糧食安全，改善營養狀況和促進永續農業 (2015 年至 2030 年)，農業 5.0 的概念應運而生。農業 5.0 旨在永續增加產量，同時消耗更少的資源並保護環境。下一波農業革命將意謂使用整合機器學習的機器人來彌補工人的短缺。

表 2. 未來農業科技研究的考量因素 (Spanaki et al., 2022)

研究領域	未來研究考慮
農場管理週期和營運	➢ 虛擬實境和擴增實境如何增強精準農業的應用？ ➢ 智慧室內垂直農耕如何發展並支持農業生產？未來的農業科技創新如何重塑農業流程？
感測器技術	➢ 支持物聯網的平台如何提高農業生產以實現農業食品產業的永續發展？ ➢ 物聯網支持的再生農業在未來十年將如何發展？ ➢ 為了確保每個農場營運的隱私和競爭優勢，需要哪些資料共享政策？
分析平台	➢ 農業分析 (從農場到餐桌分析) 如何應對永續發展挑戰？ ➢ 農業分析如何為小型、中型和大型農場提供優勢？
機器人技術	➢ 對於社會和環境負責的農業，下一個人工智慧和機器人創投公司 (AI and Robotics Ventures, ARV) 是什麼？ ➢ 農科機器人在新型農業作業中扮演什麼角色？ ➢ 3D 測繪和監控如何為每個農場的永續發展目標做出貢獻？ ➢ 空地 (aerial-ground) 混合無人機如何以無人化的方式提升農業監測作業管理水準？ ➢ 危機情況下如何使用無人機進行遠端農業作業？ ➢ 混合無人機和載人飛行器如何協作實現精準農業？

值得借鏡的是圖 2 所示農業 4.0 和農業 5.0 間的關聯，以及它們在農業食品供應鏈、社會 5.0 和聯合國 17 個永續發展目標背景下的整合。日本社會 5.0 和農業 4.0 及 5.0 間存在著密切的關係，社會 5.0 提供一個整體的發展框架，強調技術的應用應以人為中心，並兼顧永續性，而農業 4.0 及 5.0 則是社會 5.0 理念在農業領域的具體實踐。未來，臺灣應在農業 4.0(智慧農業) 基礎上，除了提高生產效率，改善農民的生活品質外，並致力於推動農業朝向永續發展邁進，以確保食物安全及生態平衡。

(三) 以智農跨域整合概念，推動我國農機產業生態系運作

隨著全球人口的持續增長，糧食需求日益攀升，這對農業部門構成巨大的壓力，農業機械的應用顯得更加重要，透過農業機械自動化與關鍵新興技術來提高生產效率、降低勞動成本，減輕農民的體力負擔，將有助於解決糧食增產的需求，提供確保糧食安全和永續發展的創新方案。

我國面臨農業缺工與老齡化的困境及農業機械的專業人力不足等挑戰，為解決這些問題，農業部門已規劃建立「農機產業推動平臺」。該平臺將匯集產官學研各方專業，全面盤點我國農機產業當前與未來的需求，並擬定農機的中、長期發展規劃。建立各部門間的協作溝通機制，促成各執行單位朝向前瞻研發方向規劃，並協作進行政策型計畫之研提與經費爭取，以帶動相關產業發展。同時，協助農業部在農糧領域之前瞻研發方向規劃，協調跨機關/單位之分工協作、從研發、改良、商品化到推廣，開發省工節能農機具，促進產業升級，從而提高臺灣農業的生產效率與競爭力。此平臺規劃之初擬採任務編組，架構如圖 4，由公部門農業科技司 (科研指導)、農糧署 (產業單位)、省工高效農機推動小組 (研發單位)，鏈結各試驗改良場所、農機生機兩學會與大專校院、農機資材協會及農機公會，強化公私協力產業布局及技術創新，充分發揮各方專長來分工，加強跨領域人才培養及訓練推廣，以支持農業生產的特殊需求，促進整體農機產業之推動，期望未來引領我國農機產業發展出共好的生態系。

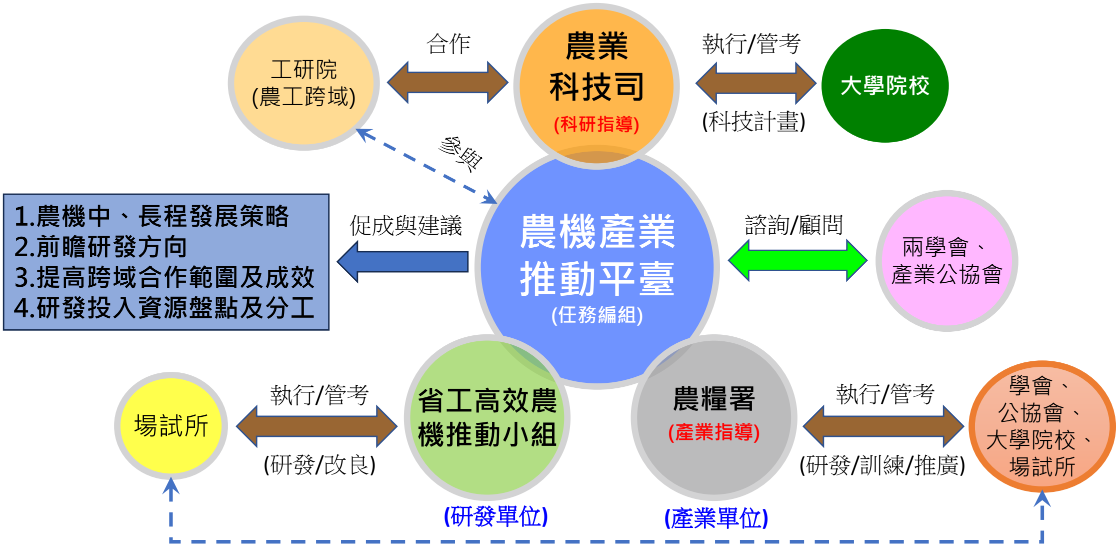


圖 4. 農機產業推動平臺構想

參考文獻

1. 農業部。(2024)。擘劃農業施政願景推出「智慧韌性 永續安心」-農業政策行動策略。檢自：
https://www.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=agri&id=9411。
2. 蔡致榮。(2020)。熱帶亞熱帶溫室設計的理論與應用-未來發展動向及展望。中正基金會專題研究報告 No. 32。財團法人中正農業科技社會公益基金會出版。
3. 蔡致榮。(2022)。植物工廠的栽培應用理論與營運操作實務-受控環境農業發展動向及未來展望。中正基金會專題研究報告 No. 34。財團法人中正農業科技社會公益基金會出版。
4. 蔡致榮、施富邦。(2025)。臺灣農機產業新商業模式－後疫情時代，如何提升農機產業發展及經營效益。臺灣農業機械現代發展史(2011~2024)-展望附件(編印中)。
5. 蔡致榮、陳慧萍。(2020)。客座總編輯－農業精實的關鍵在農機：發展智慧農機，重新定位農業品牌。豐年雜誌 70(7): 18-21。
6. Anderson, R. (2015). Smaller and smarter machines could help start an agricultural revolution. Retrieved 27 Sept, 2024 from https://www.producebusinessuk.com/smaller-and-smarter-machines-could-help-start-an-agricultural-revolution/.
7. Chukkapalli, S. S. L., S. Mittal, M. Gupta, M. Abdelsalam, A. Joshi, R. Sandhu, and K. Joshi. (2020). Ontologies and Artificial Intelligence Systems for the Cooperative Smart Farming Ecosystem. IEEE Access. 8, 164045-164064.
8. Debauche, O., Mahmoudi, S., Manneback, P., & Lebeau, F. (2021). Cloud and distributed architectures for data management in agriculture 4.0: Review and future trends. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. https://doi.org/10.1016/j.jksuci. 2021.06.062.
9. dos Reis, Â. V., F. A. Medeiros, M. F. Ferreira, R. T. Machado, L. N. Romano, V. K. Marini, T. R. Francetto, and A. L. T. Machado. (2020). Technological trends in digital agriculture and their impact on agricultural machinery development practices. Revista Ciência Agronômica, v. 51, Special Agriculture 4.0, e20207740, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE www.ccarevista.ufc.br.
10. Erzeugergroßmarkt Weyers GmbH. (2020). Growing Formosa papayas in a 4 hectare greenhouse. HortiDaily.com. Retrieved on 4 Dec, 2024 from https://www.hortidaily.com/article/9262915/growing-formosa-papayas-in-a-4-hectare-greenhouse/.
11. Johnson, E. and N. Wilson. (2024). Enhancing Agricultural Machinery Management through Advanced LLM Integration. arXiv:2407.20588v1 [cs.CL] https://arxiv.org/html/2407.20588.
12. Geelen, P. A. M., J. O. Voogt, P. A. van Weel. (2019). Plant empowerment – The basic principles. Letsgrow.com. http://www.plantempowerment.com.
13. Ghosh, P., & Kumpatla, S. P. (2022). GIS Applications in Agriculture. Geographic Information Systems and Applications in Coastal Studies. Retrieved on 2 Dec, 2024 from https://www.intechopen.com/chapters/81685.
14. Goel, R. K., C. S. Yadav, S. Vishnoi, R. Rastogi. (2021). Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries. Sustainable Computing: Informatics and Systems. 30, 100512.

15. Horne, D. (2021). Artificial intelligence: A digital brain for your greenhouse. Greenhouse Canada. Retrieved on 4 Dec, 2024 from https://www.greenhousecanada.com/artificial-intelligence-a-digital-brain-for-your-greenhouse/.
16. Ismail. (2023). Revolutionizing Agriculture with ChatGPT: A New Era in Agricultural Engineering. Artificial Intelligence in Plain English. Retrieved on 2 Dec, 2024 from https://ai.plainenglish.io/revolutionizing-agriculture-with-chatgpt-a-new-era-in-agricultural-engineering-a2d38aeffc2c.
17. Lin, J., W. Long, A. Zhang, and Y. Chai. (2020). Blockchain and IoT-based architecture design for intellectual property protection. International Journal of Crowd Science. 4(3), 283-293. DOI：10.1108/IJCS-03-2020-0007.
18. Marston, J. (2023). Why Farmers Business Network launched Norm, an AI advisor for farmers built on ChatGPT. Retrieved on 2 Dec, 2024 from https://agfundernews.com/why-farmers-business-network-launched-norm-an-ai-advisor-for-farmers-built-on-chatgpt?ck_subscriber_id=1984573869&utm_source=convertkit&utm_medium=email&utm_campaign=Plant+cell+culture+in+focus%2C+Mosa+Meat%27s+new+plant%2C+regenerative+ag+in+Africa%20-%2010750000.
19. MVTec Software GmbH. (2021). Machine vision- a driver of digital agriculture. Building Vision for Business White Paper. Retrieved on 18 Dec, 2023 from https://www.imveurope.com/ premium-access/36/machine-vision-driver-digital-agriculture.
20. Pichlmaier, B. (2018). Trends and new Technologies for Agricultural Machinery. 28th Club of Bologna Members' Meeting. Session 2 – KNR 2.1.
21. Plant Empowerment. (2020). 15% profit increase thanks to Growing by Plant Empowerment principles. HortiDaily.com. Retrieved on 4 Dec, 2024 from https://www.hortidaily. com/article/9254808/15-profit-increase-thanks-to-growing-by-plant-empowerment-principles/.
22. Porter, M. E. and J. E. Heppelmann. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. Harvard Business Review. Retrieved on 1 Dec, 2024 from https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/IoT/HBR_How-Smart-Connected-Products-Are-Transforming-Competition.pdf.
23. Raihan, A. (2024). A Systematic Review of Geographic Information Systems (GIS) in Agriculture for Evidence-Based Decision Making and Sustainability. Global Sustainability Research. Retrieved on 2 Dec, 2024 from https://www.jescae.com/index.php/gssr/article/view/636.
24. Sharma, V., A. K. Tripathi, H. Mittal. (2022). Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. Computers and Electronics in Agriculture. 201, 107217.
25. Shepherd, M., J. A. Turner, B. Small and D. Wheeler. (2020). Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution. J Sci Food Agric. 100: 5083–5092.
26. Shin, J., M. S. Mahmud, T. U. Rehman, P. Ravichandran, B. Heung and Y. K. Chang. (2023). Trends and Prospect of Machine Vision Technology for Stresses and Diseases Detection in Precision Agriculture. AgriEngineering, 5, 20–39. https://doi.org/10.3390/agriengineering 5010003.
27. Sijmonsma, A. (2020). Growing is not only about the right hardware, but also about

knowledge and crop support. HortiDaily.com. Retrieved on 4 Dec, 2024 from https://www.hortidaily.com/article/9214234/growing-is-not-only-about-the-right-hardware-but-also-about-knowledge-and-crop-support/.

28. Spanaki, K., U. Sivarajah, M. Fakhimi, S. Despoudi, Z. Irani. (2022). Disruptive technologies in agricultural operations: a systematic review of AI-driven AgriTech research. Annals of Operations Research. 308: 491–524.
29. Tran, K., A.J. Both, and C. Kubota. (2024). A Primer of Artificial Intelligence for Greenhouse Control. e-GRO Edible Alert, 9(8).
30. Villars, R., H. Muscolino, W. Kurtzman, S. Findling, R. Jyoti, D. Vesset, M. Morales, J. Cooke, D. Mohan, J. Lang, A. Gillen, M. N. Rizza, C. MacGillivray, and A. Nadkarni. (2020). IDC FutureScape: Worldwide IT Industry 2021 Predictions. IDC #US46942020. Retrieved on 1 Dec, 2024 from https://phc.pt/enews/idc-futurescape.pdf.

病蟲害智慧監測技術與發展

林達德
國立臺灣大學生物機電工程學系

摘要

隨著全球人口增長，糧食需求持續攀升，農業面臨重大的挑戰。病蟲害是威脅糧食供應的重大因素之一，傳統的病蟲害管理方法依賴大量化學農藥，導致環境污染、生態失衡和抗藥性增加。智慧農業技術的發展，包括物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 和大數據分析，為病蟲害監測提供了革新方案。智慧病蟲害監測系統運用影像處理和深度學習，實現對病蟲害的精準辨識與即時預警。此技術應用於溫室栽培環境時，可以監控微氣候條件 (如溫度、相對濕度等)，減少病蟲害風險，提高作物生長環境的穩定性。智慧預警系統基於監測數據與歷史資料判斷是否採取防治措施，減少過度農藥使用，保障環境安全。邊緣計算技術在無需穩定網路的情況下於應用端處理數據，適合偏遠地區或大規模農場應用，提升系統即時性和持續性。智慧型病蟲害管理系統結合即時性、精準性、廣域性、預測性、行動裝置和集合智慧等特性，使農場管理更數據驅動化。未來，這些技術將與自主學習、系統優化結合，朝高度自動化、可持續的智慧病蟲害管理模式發展，使農業管理更加精準、環境友善，並推動全球農業邁向智慧化與永續發展。

關鍵詞：病蟲害監測、智慧農業、深度學習、影像處理

一、前言

隨著全球人口持續增長和糧食需求的急速提升，農業生產面臨著許多壓力和挑戰。根據聯合國的預測，到 2050 年，全球人口將達到約 97 億，這將進一步推高對糧食的需求。糧食供應的穩定性和安全性不僅依賴於有效的栽培技術，還受到外部環境變數和自然災害的威脅。除了氣候變遷對作物生長環境的深遠影響，病蟲害已成為威脅全球糧食安全的關鍵因素之一。病蟲害不僅直接減少了農作物的產量，還可能破壞農業生態系統的平衡，導致更嚴重的生態後果。根據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 的統計，全球每年約有高達 20% 至 40% 的農作物因病蟲害而遭受不同程度的損失，這對全球的糧食供應鏈和農業經濟造成了巨大的衝擊 (FAO, 2022; Oerke, 2006; Savary et al., 2019)。

傳統的病蟲害管理策略主要依賴於化學農藥的大量使用，這不僅增加了農業生產成本，還對環境健康構成了嚴重威脅。農藥的過度使用會導致害蟲的抗藥性增強，進一步削弱防治效果，還會污染土壤和水源，損害生物多樣性，並危害人類健康。此外，傳統的人工監測方法如使用黏蟲紙或實地視覺檢查，不僅費時費力，而且效率低，無法快速獲得量化的資訊，難以滿足大規模農業生產的需求。

為了應對這些挑戰，農業科技的快速發展為病蟲害監測和管理提供了嶄新的技術路徑。隨著物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 和大數據技術的崛起，智慧農業得以大幅度提升

病蟲害監控的精準性和自動化程度。IoT 技術可以實現對農田環境的全天候遠程監控，AI 技術則可以對捕捉到的害蟲影像進行即時識別和分類，大數據分析能夠幫助農民預測病蟲害的發生趨勢，從而更好地進行防治決策 (Popescu et al., 2023)。

智慧害蟲監測系統通過整合這些先進技術，不僅減少了勞力的需求，還顯著提高了監測的精度和效率。這些系統能夠即時提供農田的病蟲害情況，並根據實時數據進行風險評估與預警，使農業生產朝著更加智慧化、精準化和可持續的方向發展 (Rustia et al., 2022)。本文將進一步探討病蟲害智慧監測技術的現狀及未來發展，涵蓋害蟲智慧偵測與辨識系統、溫室作物栽培環境監測與分析、病蟲害預警系統以及智慧型病蟲害整合管理的未來願景。

二、害蟲智慧偵測與辨識系統

智慧害蟲偵測與辨識系統結合了物聯網和影像處理技術，為作物整合性病蟲害管理提供了自動化和精準化的創新方案。傳統的方法如人工檢查黏蟲紙或誘捕陷阱雖然在某些情況下有效，但通常需要耗費大量時間和人力，而且容易受到人為誤差影響。透過自動化的監測與分析，農民能即時掌握田間狀況，採取適當的防治措施。

我們研究團隊所研發的系統，其核心技術在於自動化的害蟲偵測與辨識以及作物栽培環境的即時監測與數據分析。傳統上，農民對於作物栽培環境的病害與蟲害狀況多憑巡田觀察與經驗，或是需定期檢查黏蟲紙上的害蟲數量與種類獲得粗略的訊息，過程耗時費力且無法精準判斷。智慧監測系統透過樹莓派嵌入式系統上高解析度攝影機定期拍攝黏蟲紙影像，並利用深度學習演算法進行分析，運用深度學習 AI 影像辨識技術，對黏蟲紙上的害蟲進行偵測與辨識。透過大量已標註的害蟲影像進行訓練，模型能學習並識別不同種類的害蟲。目前可以辨識八種常見的微型害蟲，平均辨識率 F1-score 達 90% 以上。

如圖 1 所示，在設計架構上，系統由多個感測節點組成，每個節點包含攝影機模組、環境感測器 (如溫度、濕度、光照等) 和無線傳輸模組。這些節點分布於溫室或田間各處，定期收集影像與環境數據，並透過無線網路將資料傳送至中央伺服器。伺服器對數據進行處理與分析，並將結果呈現在用戶端的網頁或行動裝置上，供農民即時查看。系統設計著重幾個原則以利系統的研發與應用推廣的未來性，包括：採用取得容易的嵌入式系統與元件，模組化設計以利組裝與安裝的簡易性，防塵與防水設計以適用於較於複雜與惡劣的作物栽培環境，整體價格必須低廉以利推廣於農民應用 (Rustia et al., 2020)。

物聯網通訊方式在系統中扮演關鍵角色。感測節點透過無線通訊將數據傳輸至閘道器，再由閘道器將資料上傳至雲端伺服器。這種架構確保了數據傳輸的穩定性與即時性，並降低了佈建成本。智慧害蟲與環境監測系統的特色在於其即時性、自動化與精準度。透過自動化的數據收集與分析，農民能即時掌握田間的病蟲害狀況，減少對人工監測的依賴。此外，系統能提供長期的數據累積，協助農民分析病蟲害的發生趨勢，制定更有效的防治策略，或是進行栽培環境的改善。在病蟲害整合管理方面，該系統透過即時監測與預警，農民能在病蟲害爆發初期即採取措施，降低損失。此外，系統提供的數據能協助農民優化農藥使用，減少過度施藥，降低環境污染。此系統經由構想、設計、製作、

不斷的測試改良、技轉、商品化設計商品化驗證與測試、推廣應用等階段，終能由實驗室的上游研發落實至實際的農業場域落地應用。

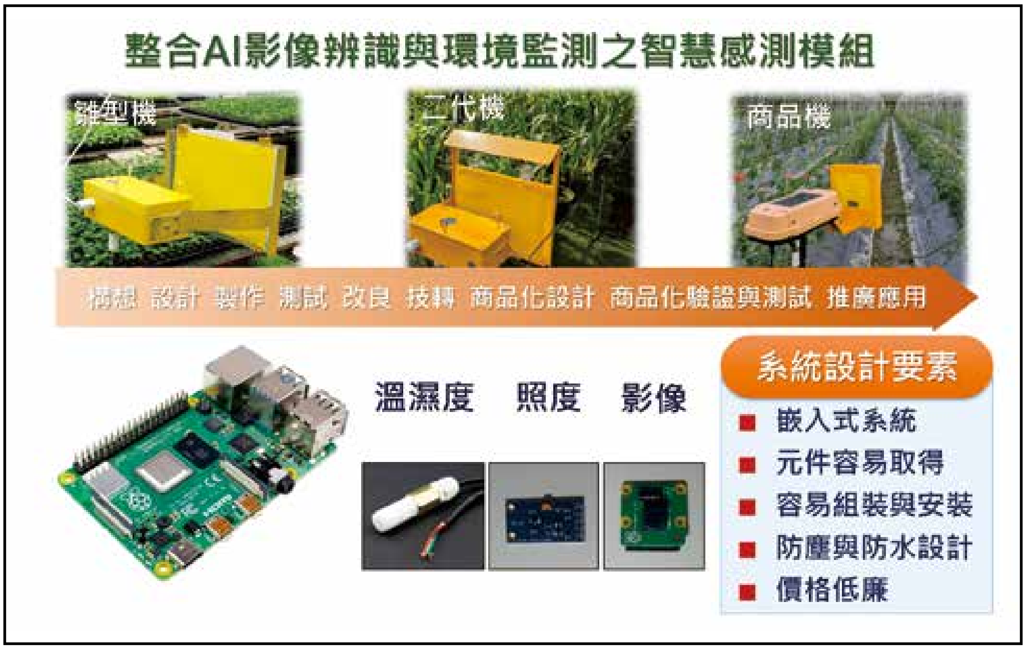


圖 1. 整合 AI 影像辨識與環境監測之智慧感測模組設計架構與系統設計要素

整體而言，智慧害蟲與環境監測系統透過先進技術的整合，提升了農業病蟲害管理的效率與精準度。這些技術不僅減少了農民勞力與時間，也提高了防治效率與精準度。透過整合 AI、物聯網及大數據技術，智慧害蟲監測系統為病蟲害整合管理提供了新的模式，有助於更好理解作物與環境之間相互作用，逐步實現基於數據進行栽培管理的新契機。

三、溫室作物栽培環境監測與分析

溫室栽培作為現代農業中的關鍵技術，能夠為作物創造相對穩定且可控的生長環境。通過精確控制關鍵環境因素，如溫度、濕度、光照及二氧化碳濃度等，可以有效優化作物生長條件，提高產量與質量。然而，這些環境因素同樣對病蟲害的發生有顯著影響，因此精準的環境監測與即時的數據分析至關重要。研究顯示，環境變數的微小變化可能會引發病蟲害的爆發，因此建立有效的監測系統是必要的，對於病蟲害的發生與蔓延可以及早因應並提出有效的防治措施 (Wang, 2024)。

現代智慧農業技術使得對溫室環境的實時監控變得更加自動化與精確。根據 Soheli 等人 (2022) 的研究，溫室系統利用物聯網 (IoT) 和模糊推理系統來自動化控制氣候條件，通過感測器實時收集溫度、濕度、陽光和土壤濕度等數據，並將這些數據作為輸入變量進行處理。這些感測器通常連接至 IoT 平台，通過雲端實時傳輸與分析數據，以便

為管理者提供分析報告。當某些參數達到有利於害蟲繁殖或病害爆發的臨界值時，系統可以自動發送警報提醒管理者進行調整，以減少風險。

我們研究團隊所研發基於物聯網的智慧監測系統，除了害蟲的辨識以外，由於監測模組安裝有溫濕度感測器與光照感測器，亦可以對於栽培環境的微氣候進行長時間與即時的監測。符合前述的概念，對於作物的栽培管理可以經由數據分析與模型建立等方法將數據轉為有用的作物栽培管理資訊。如圖 2 所示，運用物聯網監測系統收集並分析溫室內的害蟲、栽培介質、微環境等資訊，對作物栽培具有多方面的優勢。透過即時監測溫室內的溫度、濕度、光照等微氣候參數，確保環境條件適宜作物生長。此外，監測模組亦可以透過藍芽等通訊協定連接外加的土壤與介質感測器，可進一步監測土壤或水耕介質的 pH 值、電導度 (EC 值) 等，確保養分供應適當，避免過度施肥或缺乏養分，促進作物健康生長。收集的數據經過分析，可建立作物生長模型，預測生長趨勢，優化管理決策。綜上所述，IoT 監測系統在溫室作物栽培中，透過即時監測與精準分析，提供全面的環境與作物資訊，協助農民優化管理策略，提升作物品質與產量，實現智慧農業的目標。

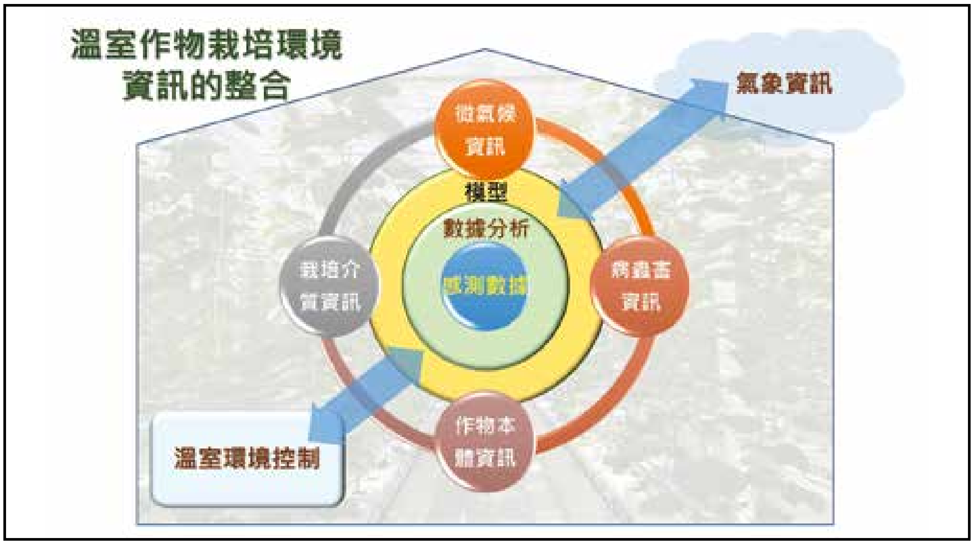


圖 2. 運用智慧監測系統達成溫室作物栽培環境資訊的整合

四、病蟲害預警與管理

病蟲害預警系統在現代農業中扮演著至關重要角色，它們能幫助農民及時掌握病蟲害發展趨勢，以採取有效防控措施最大程度減少作物損失。預警系統核心是能夠預測病蟲害爆發時間與強度，不僅幫助降低生產風險，也能減少農藥過度使用，以實現可持續管理。

現代病蟲害預警系統通常結合先進感測器、物聯網、AI 及大數據技術，自動收集大量環境數據，如溫度、濕度、光照強度等因素直接影響病蟲害發生。例如，在適合溫度與高濕條件下，有利於某作物病害發生的風險，使得環境監控成為預警中的關鍵要素 (He et al., 2023)。

此外，預警系統通常基於經濟門檻模型來決定是否需要進行防治。經濟門檻指的是病蟲害密度達到使作物損失經濟成本超過防治成本臨界值。一旦超過該門檻，系統會自動建議採取控制措施，如使用化學防治、生物防治或物理防護等措施，以合理配置資源並避免不必要使用農藥。害蟲監測系統的優勢為即時監測與得以紀錄長期歷史資訊，透過數據分析與機器學習模型，我們所研發的系統可以依據每日特定害蟲的增加數量來建立預警燈號，透過簡訊或手機 APP 即時提醒農民進行不同程度的管理作為。

圖 3 所示為智慧害蟲偵測與辨識系統所提供給農民的資訊。監測模組持續監測栽培場域的溫度、濕度、照度等環境參數，整合區域氣象資料，計算累積溫度和光照等指標，了解環境變化對作物生長和病蟲害發生的影響。進一步透過數據分析與模型建立提供即時預警。

針對特定作物，系統評估病害發生的環境風險指標，提供相應的防治資訊，協助農民制定有效的病害管理方案。此外，系統記錄施藥歷史，自動偵測施藥行為，提供溫室影像即時監測功能，設置施藥備忘錄，提醒農民按時進行防治作業，確保防治效果，減少農藥使用量。此外，系統可生成詳細報表，分析微氣候變化與害蟲發生的關聯，提供長期趨勢分析，協助農民了解病蟲害發生規律，制定長期管理策略。整合各項資訊，系統提供智慧化的作物栽培建議。

圖 3. 病蟲害監測與預警系統的管理資訊

透過溫室物聯網監測系統收集的溫度和濕度數據，農民可以有效預測作物病害的發生風險。持續監測這些環境參數，有助於及早發現可能引發病害的微氣候變化。利用先進的建模技術，分析收集到的數據，能根據環境條件預測病害風險。研究顯示，將溫度和濕度數據與病害發生的觀察結果結合，可提高病害嚴重程度預測的準確性。例如 Newlands (2018) 的研究中運用 CLR 模型透過設定病原菌的最低、最高和最適發芽與感

染溫度，以及關鍵的葉片濕潤持續時間，來預測作物病害風險，強調高相對濕度對病害發生的重要性。此外，自動化系統可依據病害風險的評估來即時調整環境條件，降低不利溫度和濕度水平帶來的風險，這不僅可降低作物受到病害的影響，還減少對人工監測的依賴。

對於作物病害的發病風險，我們建立了一個簡易的數學模型，運用作物病害的發病溫度範圍與最適溫度，於高相對濕度的條件下，可以評估栽培環境微氣候的病害好發環境風險。進而運用所計算的風險指數來提供農民淺顯易懂的風險燈號，以利及時進行降低風險的環境控制。圖 4 所示是以番茄種苗的細菌性斑點病好發環境風險預警為例，顯示一家育苗場栽培環境的長期監測結果。由上圖中可見番茄種苗的細菌性斑點病好發環境風險的週期性，在夏季較高溫高濕的條件下，風險相對於冬季為高。下圖中亮紅色燈號的時間則代表高病害環境風險，應特別注意溫室的通風以降低環境的相對濕度，以減少發病的機率。透過歷史資料的觀察與分析，溫室管理者亦可據以改善栽培環境的環境控制條件，例如調整溫室通風的時間與頻率、安裝循環風扇以減少溫室內相對濕度偏高的位置等措施。

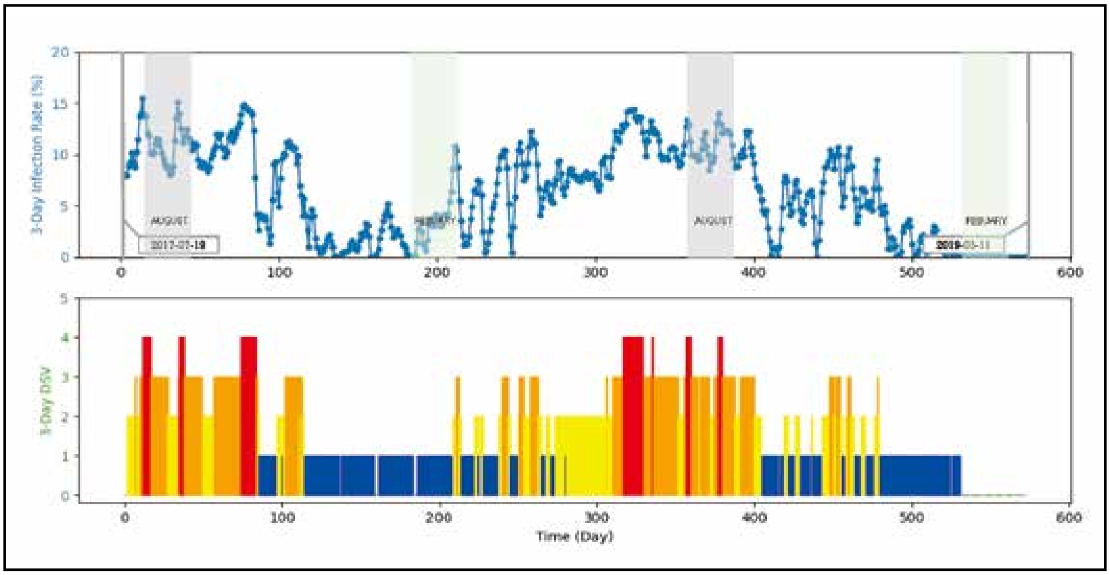


圖 4. 育苗場長期監測與番茄種苗細菌性斑點病好發風險指數分析

五、智慧型病蟲害整合管理之未來願景

隨著人工智慧和物聯網的迅速發展，智慧型病蟲害整合管理正為農業帶來嶄新轉變。傳統病蟲害綜合管理包含監測、預防、干預和評估四個步驟，而新的智慧模式則透過自動化技術和精準分析提升管理效率，結合即時性、精準性、廣域性、預測性等特性，使農場管理更有效率。

透過自動化監測和異常檢測，系統提供即時可靠的數據來源，讓管理者迅速回應異常情況，如害蟲爆發或病害風險。系統會即時通知管理者，並提供因地制宜的行動建議，包含行動裝置上的推薦選項，推動更環保的防治方法，例如天然農藥或混合防治方案，

實務上展現良好效果。智慧型病蟲害整合管理還支援選擇性干預，使管理者能聚焦於特定區域，例如透過空間數據檢視害蟲入侵點，並根據環境感測數據調整通風設備，以降低病害風險。

此系統的特點之一是能結合巨量資料與數據分析，透過量化數據讓管理者評估行動有效性，提升農場管理的經濟效益。未來，智慧型病蟲害整合管理系統將朝向高度智慧化，結合自主學習和系統優化技術，不斷從即時數據中提高預測與決策的精準度。隨著系統持續運行，AI 模型逐漸掌握害蟲行為特徵，能提供更精準的預警與防治建議，逐步減少對外部專家的依賴。這種全自動化、精準化、可持續的發展模式，將成為未來整合性病蟲害管理的必然趨勢 (Rustia et al., 2022)。

參考文獻

1. FAO. 2022. FAO's Plant Production and Protection Division. Rome. https://doi.org/10.4060/cc2447en.
2. He, J., Chen, K., Pan, X., Zhai, J., & Lin, X. (2023). Advanced biosensing technologies for monitoring of agriculture pests and diseases: A review. Journal of Semiconductors, 44(2), 023104.
3. Newlands, N. K. (2018). Model-based forecasting of agricultural crop disease risk at the regional scale, integrating airborne inoculum, environmental, and satellite-based monitoring data. Frontiers in Environmental Science, 6, 63.
4. Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. The Journal of agricultural science, 144(1), 31-43.
5. Popescu, R., Pope, A., Lee, K. S., Alberts, S., Chiang, Y. K., Lee, S., ... & Ramakrishnan, V. (2023). Tracing the Total Stellar Mass and Star Formation of High-redshift Protoclusters. The Astrophysical Journal, 958(1), 12.
6. Rustia, D. J. A., Lin, C. E., Chung, J. Y., Zhuang, Y. J., Hsu, J. C., & Lin, T. T. (2020). Application of an image and environmental sensor network for automated greenhouse insect pest monitoring. Journal of Asia-Pacific Entomology, 23(1), 17-28.
7. Rustia, D. J. A., Chiu, L. Y., Lu, C. Y., Wu, Y. F., Chen, S. K., Chung, J. Y., ... & Lin, T. T. (2022). Towards intelligent and integrated pest management through an AIoT-based monitoring system. Pest Management Science, 78(10), 4288-4302.
8. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nature ecology & evolution, 3(3), 430-439.
9. Wang, C. (2024). Intelligent agricultural greenhouse control system based on internet of things and machine learning. arXiv preprint arXiv:2402.09488.

The Technology and Development of Intelligent Pest and Disease Monitoring

Ta-Te Lin

Department of Biomechatroincs Engineering, National Taiwan University

ABSTRACT

With the growing global population and increasing food demands, agriculture faces unprecedented challenges. Pest and disease threats have become major factors endangering food security. Traditional pest management methods rely heavily on chemical pesticides, leading to environmental pollution, ecological imbalance, and increased pest resistance. The advancement of smart agricultural technologies, including the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and big data analytics, has introduced innovative approaches to pest monitoring. Smart pest monitoring systems use image processing and deep learning to achieve precise identification and real-time alerts for pest incidents. When applied to greenhouse environments, these systems monitor microclimate conditions (e.g., temperature, humidity), reducing pest risks and enhancing crop growth stability. Smart warning systems, leveraging historical data and model analysis, enable the determination of effective, eco-friendly control measures, reducing pesticide overuse and enhancing environmental safety. Edge computing enables local data processing without reliance on stable internet connections, suitable for remote or large-scale farms, enhancing system immediacy and continuity. Future intelligent pest management systems incorporate real-time, precision, wide-range, predictive, mobile, and collective intelligence features, making farm management more data-driven. These technologies, combined with autonomous learning and system optimization, will advance towards highly automated and sustainable pest management, promoting precise, eco-friendly agricultural management and driving global agriculture towards smart and sustainable development.

Keywords: Pest and disease monitoring, smart agriculture, deep learning, image processing

工程技術於智慧禽舍之進展與應用

蔡燿全、陳昱傑
國立中興大學生物產業機電工程學系

摘要

台灣家禽產業已逐漸從室外飼養轉向室內飼養，並引入環境控制、自動給飼與給水裝置，提升飼養效率與產業安全。然而野鳥傳播疾病風險、農民頻繁進出禽舍造成的病原傳播、以及依賴經驗的健康管理方式等問題仍需改善。透過影像深度學習技術、雷射驅鳥與重量監測等技術，可有效降低禽流感風險，並自動監測雞隻健康狀況，提升管理效率與減輕農民負擔。未來家禽產業將朝前瞻、安全、幸福和永續方向發展，藉由 AI 智慧科技實現產業升級與永續發展。

關鍵詞：智慧禽舍、深度學習、影像處理、機電整合。

一、前言

台灣主要的肉雞飼養品種為白肉雞與土雞，而白肉雞主要市場為速食業者、食品加工業者與一般食物消費需求；土雞主要市場為中式餐廳與特定食補消費需求。白肉雞擁有較短的飼養週期，大約落在 5 至 7 週；土雞擁有較長的飼養週期，大約落在 13 至 24 週。白肉雞的銷售重量約為 2.0 公斤到 3.0 公斤，土雞的銷售重量約為 2.5 公斤到 3.5 公斤。由於動物行為的不同，土雞的飼養密度是低於白肉雞的。

為了減少傳染病感染家禽的風險，台灣的家禽產業已經逐漸由室外飼養轉向室內飼養，而為了提供家禽適合的生長環境，許多環境控制系統已逐步導入禽舍內。為了節省農民勞力，大部分的禽舍也引入了自動給飼和給水裝置。近年來，環境感測和環境自動控制系統在許多禽舍中得到應用，實現了對禽舍環境的自動化控制，以滿足家禽生長的需求，台灣禽舍發展現況示意圖如圖 1 所示。

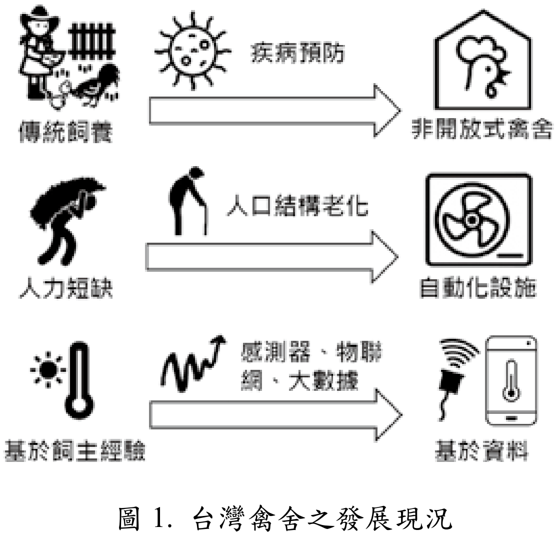
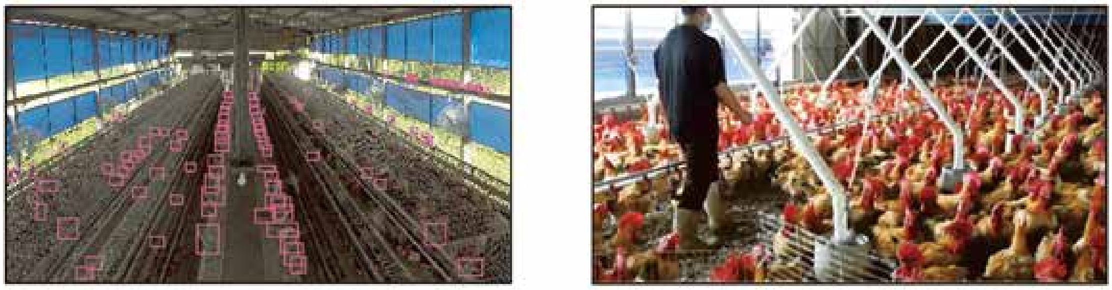


圖 1. 台灣禽舍之發展現況

在現今的自動化禽舍下，仍然存在一些問題需要解決，以實現產業升級，示意圖如圖 2。當野鳥靠近禽舍時，可能會將禽流感等疾病傳播給家禽，這對家禽產業構成嚴重威脅。而目前家禽管理業者仍需要每天多次進出禽舍，觀察家禽的生長和健康情況，這種頻繁的進出除了增加農民的勞動強度外，還有可能造成病原體的傳播，另外觀察指標與程度多依賴農民自身的經驗和判斷，缺乏家禽本體感測資訊數據化，缺乏科學的資訊數據化支持，這可能導致管理上的不準確和效率低下，因此近年研究主流為結合感測、數據與物聯網進行禽場智慧化管理 (Astill et al., 2020；Wu et al., 2022)。傳統禽舍、自動化禽舍與智慧禽舍比較如表 1，傳統禽舍最大缺點為幾乎需要靠人力給飼給水與觀察雞隻狀況，雖然自動化禽舍已經解決許多傳統禽舍遭遇之問題，但為了將禽舍從自動化禽舍升級為智慧禽舍，解決野鳥問題並建立家禽健康狀況評估系統是必要的。



▲禽舍的野鳥問題　　▲農民仍需親自進入禽舍觀察雞隻狀況

圖 2. 現今自動化禽舍遭遇的問題與挑戰

表 1. 傳統禽舍、自動化禽舍與智慧禽舍比較表

	傳統禽舍	自動化禽舍	智慧禽舍
禽舍形式	開放式 非開放式	非開放式(野鳥問題) 封閉式	
環境控制設備	循環扇	負壓風扇、水簾	
感測與回饋控制	否	溫度計、溼度計	+風速計、氣體感測器
給飼與給水方式	人力	自動化	
給飼量與 給水量監測	否	否	是
管理紀錄	否	紙筆記錄	數位化記錄
家禽體重量測	只有出雞時量測平均體重 或是不定時人工量測		每天自動監測平均體重
家禽健康評估與預警	禽場主人或飼養員觀察		透過影像、照片或聲音進行監測

二、AI 雷射驅鳥器

透過攝影機與影像深度學習技術進行野鳥的偵測，並整合雷射用於驅離野鳥，有效減少野鳥出現於禽場 (Chen et al., 2024)，如此能降低禽流感傳播的風險，保障家禽健康與產業穩定，成果如圖 3 所示。

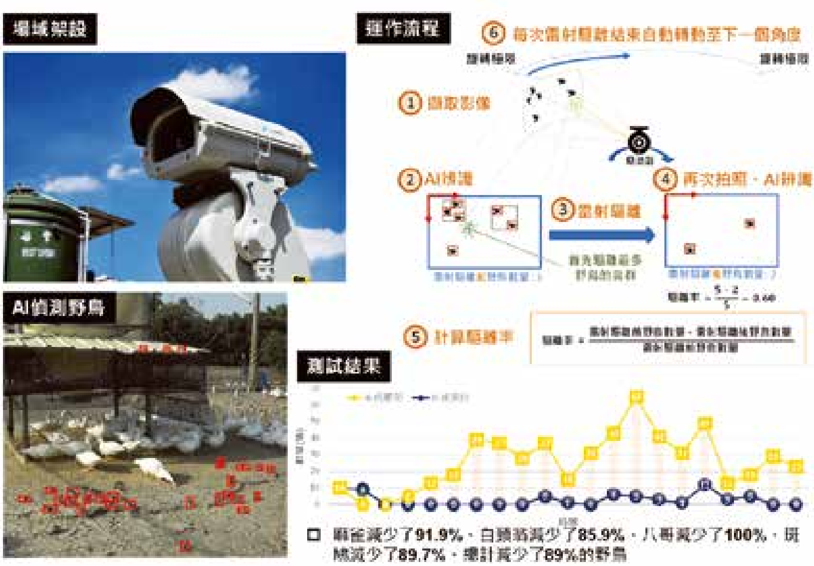


圖 3. AI 雷射驅鳥器與成果圖

三、AI 智慧家禽秤重計

透過影像深度學習技術與重量感測器整合，辨識位於秤盤上的雞隻數量，並計算雞隻平均體重，實現家禽飼養過程的自動化體重監測，及時掌握家禽生長情況，有助於科學化管理雞隻飼養狀態與銷售管理，成果如圖 4 所示。

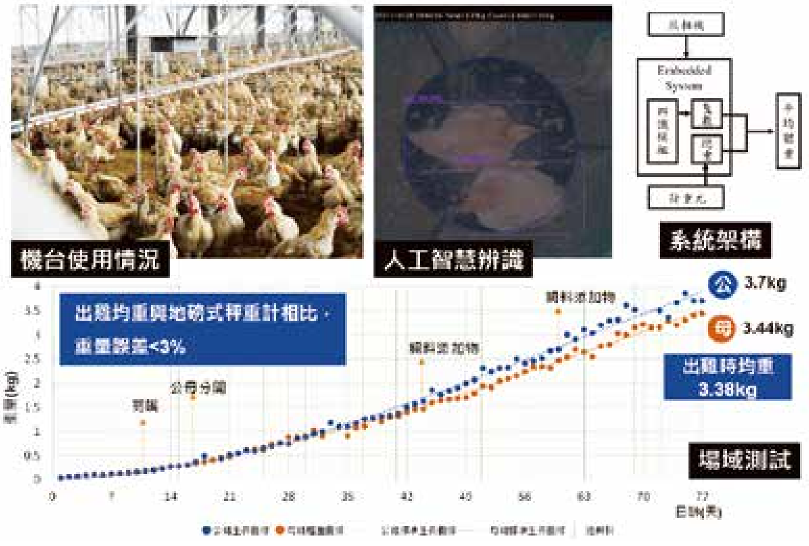


圖 4. AI 智慧家禽秤重計與成果圖

四、雞群雷射反應力影像評估系統

透過雷射對於家禽進行刺激，並使用影像量化家禽的反應力，用於定時自動監測飼養雞群的反應力。此研究發現健康與不健康狀態雞隻對雷射刺激會產生截然不同的反應，藉由此系統能達到全天候監測雞隻活動力，並能在活動力異常時進行反應力評估，判斷異常值是否與健康狀況相關，讓業者更即時的掌握雞隻的健康狀況，並主動對雞隻進行健康管理，成果如圖 5 所示。

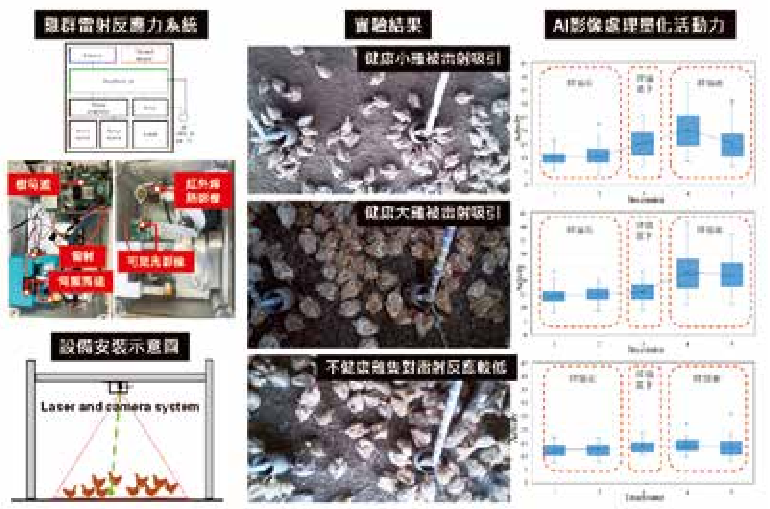


圖 5. 雞群雷射反應力影像評估系統與成果圖

五、雞群特徵器官 AI 辨識技術

雞隻的雞冠與眼睛為健康狀況的重要觀察指標，但人力巡視較無法全面且即時掌握禽舍內雞隻狀況，此系統整合深度學習技術與傳統影像處理技術監測雞隻的雞冠與眼睛異常與否，做為健康預警指標，在異常比例超過一定數值時即提醒飼養業者對雞隻進行健康管理，成果如圖 6 所示。

圖 6. 雞群特徵器官 AI 辨識技術與成果圖

六、結論與未來展望

台灣家禽產業逐步從傳統室外飼養轉為室內飼養，並導入自動給飼、給水及環境控制系統，提升家禽飼養效率與安全。然而野鳥傳播疾病風險、業者頻繁進出禽舍帶來的病原傳播、以及依賴飼主經驗的雞隻健康管理方式等挑戰，仍需改善。透過深度學習技術，整合攝影機、雷射驅離野鳥及雞隻重量監測等措施，能降低禽流感傳播的風險，自動監測雞隻活動力、體重及健康狀態，並即時發出異常健康預警。此系統有助於實現智慧精準管理、提高生產效率並降低傳染病風險，促進家禽產業的永續發展。各技術目前發展的情況如圖 7 所示，AI 雷射驅鳥器的野鳥偵測準確率可達 88%，驅離率可超過 50%，預期可透過減少野鳥數量來降低禽流感傳播風險，目前已完成商品化；AI 智慧家禽秤重計可每天自動量測與紀錄雞隻平均體重，且與地磅式秤重計相比，量測出雞平均體重的誤差小於 3%，其可全程監測家禽體重，並做為健康預警與生長管理的依據，目前已完成商品化；雞群雷射反應力影像評估系統可以雷射取代農民做為刺激源，減少病原體進入禽舍的機會。此系統的雞隻辨識準確率達 90%，並可根據反應力評估雞隻健康狀態，協助產業達到健康預警與節能省工；雞群特徵器官 AI 辨識技術整合高解析度攝影機與深度學習技術進行雞冠辨識且偵測率達 80%，並利用影像處理方法與統計方法計算雞隻雞冠均勻度與離群值，當異常比例超過一定數值時提出警告，協助產業達到健康預警與節能省工。

未來家禽產業的發展目標涵蓋四大方向：前瞻、安全、幸福、永續。前瞻方向致力於發展智慧科技家禽產業技術，從生產和飼養端全面提升家禽產業的競爭力。安全方向以智慧科技家禽產業技術為核心，建立健全的家禽安全生長系統，促進優質生產與消費。幸福方向透過創新技術協助農民保護飼養的家禽，強化經濟保障，減輕勞動負擔，並打造宜業宜居的新農村，並藉由資通訊技術和物聯網的數位整合，提供友善且便利的智慧飼養環境。永續方向透過野鳥驅離、家禽體重與健康的監測，以及疾病的早期預防，精準控制飼料和動物用藥的使用，實現永續農業的目標。

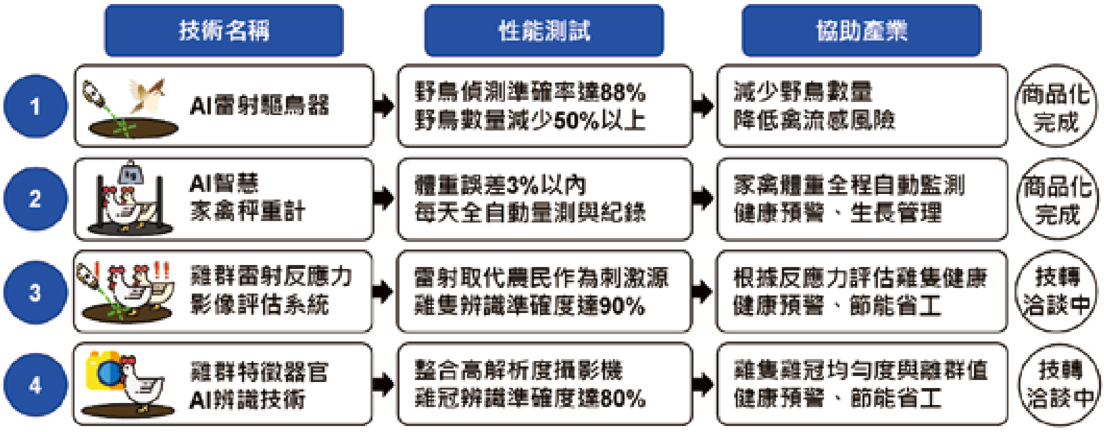


圖 7. 智慧禽舍技術發展近況

參考文獻

1. J. Astill, R. A. Dara, E. D. Fraser, B. Roberts, and S. Sharif, "Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 170, no. 105291, 2020.
2. D. Wu, D. Cui, M. Zhou, and Y. Ying, "Information perception in modern poultry farming: A review," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 199, no. 107131, 2022.
3. Y. C. Chen, J. F. Chu, K. W. Hsieh, T. H. Lin, P. Z. Chang, and Y. C. Tsai, "Automatic wild bird repellent system that is based on deep-learning-based wild bird detection and integrated with a laser rotation mechanism," Scientific Reports, vol. 14(1), no. 15924, 2024.

Progress and Application of Engineering Technology in Smart Poultry Houses

Yao-Chuan Tsai and Yu-Chieh Chen

Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

ABSTRACT

Taiwanese poultry industry has gradually changed from outdoor to indoor farming, incorporating environmental control, automated feeding, and watering systems to improve efficiency and industry safety. However, issues such as disease transmission from wild birds, pathogen spread from farmers frequently entering poultry houses, and health management relying on experience still need improvement. By applying deep learning, laser bird repellence, and weight monitoring technologies, the risk of avian influenza can be effectively reduced, and automated health monitoring for poultry can improve management efficiency and reduce labor burdens. In the future, the poultry industry will aim to develop toward foresight, safety, well-being, and sustainability, utilizing AI smart technologies to achieve industry upgrades and sustainable growth.

Keywords: Smart poultry house, Deep learning, Image processing, Mechatronic integration.

稻作智農技術研發與落地的生態系建構

賴明信 [1]、吳東鴻 [1]、陳繹年 [2]、黃守宏 [3]
[1] 農業部農業試驗所作物組
[2] 農業部農業試驗所植物病理組
[3] 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所植保系

摘要

自 106 年起，稻作智慧農業計畫開始執行第一階段 (106-109 年)，旨在因應產業發展的需求，主導或協同研發智慧農業技術。此階段不僅積累了產業轉型升級的能力，還成功普及了智慧農業的理念，達成了既定的發展目標。隨著 112 年第二階段 (112-115 年) 的啟動，計畫的重點轉向提升效率、安全性及降低風險。此階段不僅深化並延伸現有的智慧農業技術，還強調技術的實地應用與產業化，確保農民能夠切實感受到技術帶來的益處，並創造新的商機。在此過程中，成功落地的智慧農業技術包括葉稻熱病及褐飛蝨警示技術、營養與灌溉水管理技術，以及產量與穀粒水分預測技術等。透過生態系的建設，計畫成功建立了商業服務模式，並促成新型態農事服務公司的成立，為智慧農業的發展開啟了新的篇章。

關鍵詞：水稻、智慧農業、生態系、無人機多光譜技術、人工智慧

一、前言

糧食安全是全球各國共同重視的重要議題，各國積極未雨綢繆，以應對潛在的糧食危機。根據專家預測，至 2050 年和 2080 年，稻穀產量將分別減少 4.7%和 7%。然而，當前農業面臨的挑戰日益嚴峻，主要包括市場競爭力不足、勞動力老齡化、氣候變遷的影響以及水土資源的短缺等問題。隨著消費者對產品品質和安全性的要求不斷提高，市場競爭愈發激烈，農民的收益受到壓縮，特別是在全球化的背景下，價格戰愈演愈烈。小農因經營面積小、收入不穩定而難以維持生計。隨著農民年齡的增長，體力逐漸不足，從事重體力工作的能力下降，加上年輕人對農業工作的興趣減少，農民在經營過程中常常面臨人力資源短缺的困境。此外，氣候變遷導致極端天氣事件的頻率增加，溫度上升加速了病蟲害的繁殖，並使稻米在生長過程中的澱粉粒間出現空隙，從而提高了白堊質率，嚴重影響稻米的外觀品質和市場價值。再者，水土資源的日益短缺以及科技的迅速進步，使得農民在學習新技術方面缺乏有效的管道與能力。這些因素共同構成了農業發展的瓶頸，各國必須加強科技研究，制定有效的應對策略，以確保糧食安全和農業的可持續發展。

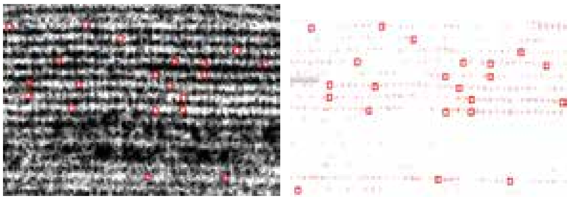
二、材料與方法

2.1 無人機與多光譜影像的應用

在現代農業中，無人機技術已逐漸成為農田監測的重要工具 (Hatfield et al., 2008)。無人機能搭載多光譜相機，該相機可同時捕捉多種光譜數據，包括紅光、綠光、藍光、紅光邊緣以及近紅外波段，從而為農田監測提供多元且全面的數據支持 (Cen et al., 2019)。這些多光譜影像資料將通過專業影像建模處理軟體 (例如 Pix4D Mapper) 進行分析，並利用地理資訊系統 (如 ArcMap) 生成測試區域的 shapefile，以提取植生指數 (如 NDVI、SAVI 等) 並進行後續的數據關聯分析。此技術可提供快速且精確的運算結果，讓農民及管理單位能夠及時掌握農田生長狀況，從而為科學化及精準化的農田管理奠定基礎。

2.1.1 葉稻熱病警示技術

本技術利用無人機搭載多光譜相機，根據特定光譜影像收集條件，對田間的稻熱病菌接種區與對照區進行影像資料的收集。影像經過拼接處理後，進一步進行正射影像光譜資訊的提取，並抽取植生參數進行分析。透過對不同區域植生參數的數學模式比對，可以辨別出兩區之間的差異，從而識別出受感染與未感染稻株的不同特徵 (Mahajan, 2016)。此技術能夠有效地建立葉稻熱病警示系統，提前發現稻株是否受到稻熱病菌的感染，即便在肉眼尚未能察覺病斑的情況下，農民也能夠早期獲得警示，從而進行預防性治療 (Moore et al., 2021)。無人機搭載的多光譜相機能夠對田區進行全方位的影像拍攝，並透過植生指數的分布來偵測病菌入侵的情況。系統能夠即時識別病菌入侵的跡象，當影像中出現紅色像素時，表示病菌已經侵入該稻株；而無色或低亮度的像素則表示病菌尚未侵入該區域的稻株。這一技術的應用，能夠幫助農民及時發現病害，提升防治效率，從而減少稻田損失 (如圖 1)。



植生指數	VI-1	VI-2	VI-3	VI-4	VI-5	VI-6
標到也有匡到	64	54	50	56	58	55
標到沒有匡到	16	26	30	24	22	25
總數	80	80	80	80	80	80
正確率	0.80	0.68	0.63	0.70	0.73	0.69

圖 1. 葉稻熱病警示技術

2.1.2 營養管理技術

本技術利用無人機拍攝作物影像，並通過影像數據建立回歸模型，估算水稻的

氮累積狀況，實現水稻植體的非破壞性測量與快速監測 (楊等，2018)。通過氮素營養指標 (nitrogen nutrition index, NNI) 和田間累積氮素差 (difference of field cumulative nitrogen) 等指標，並結合現地生理性狀的調查數據，進行綜合分析。該回歸模型能夠根據水稻植體氮含量計算出的 NNI，推估水稻在最盛分蘗期的葉色，進而推測水稻植體的氮含量，並在水稻進入幼穗分化期之前，提供最適穗肥施用量的決策建議。本技術使用 NDRE (normalized difference red edge) 植生參數來計算水稻目前的氮肥累積量，並將其與最佳氮素累積量進行對比。通過精確的數據分析，農民可以根據實際情況估算出每公頃所需的最適氮肥量，避免過度或不足施肥，達到精準施肥的目的 (賴等，2013)。這項技術不僅有助於提高水稻的營養管理效能，也能減少資源浪費，提升農業生產的可持續性與經濟效益 (如圖 2)。

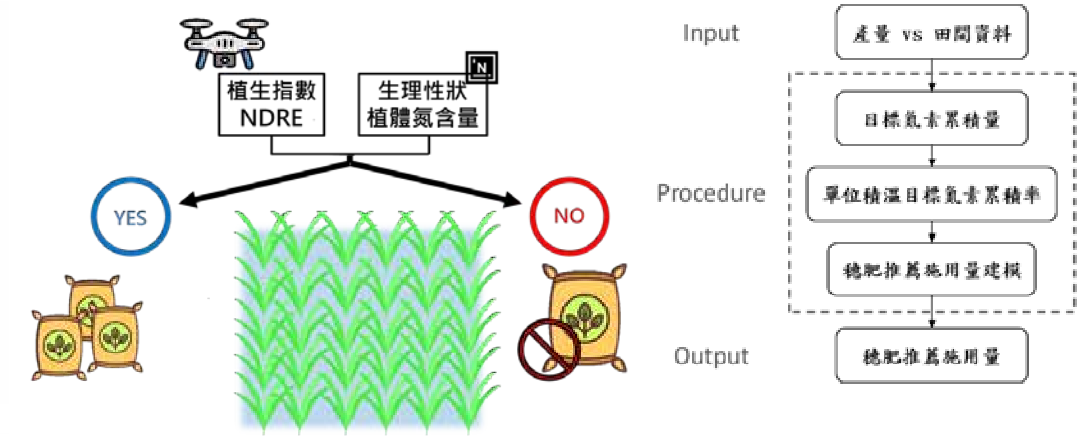


圖 2. 營養管理技術

2.1.3 產量預測技術

本技術通過無人機搭載多光譜相機，收集不同品種、不同生育時期的水稻影像資料，原始影像經過品質檢查、處理、校正與光譜數據提取後，形成可供利用的光譜資料。利用這些光譜資料，計算出植生參數 (vegetation index, VI)，以反映水稻在不同生育時期的生長狀況。由於水稻產量與其在各生育時期的植株狀態密切相關，而植生參數能夠有效表示植株的當前狀態，故希望透過機器學習 (machine learning) 和人工智慧 (AI) 演算法來探索影像資料與實際產量之間的關聯性 (Prasad et al., 2006; Guan et al., 2019)。鑑於農業資料收集較為困難，且在有限時間內能夠獲得的資料較為有限，本技術首先利用生成對抗網路 (generative adversarial network, GAN) 擴增資料訓練集，通過長短期記憶 (long short-term memory, LSTM) 模型，將擴增後的資料與實際產量資料結合，建立兩者之間的關聯模型。最終，訓練出四種不同的模式，分別適用於 NDVI、SAVI 或 MSR 等不同生育時期的植生指數，進行產量預測 (如圖 3)。

使用者只需收集數個特定生育時期的 NDVI、SAVI 或 MSR 等植生指數，即可透過本產量預測模式進行水稻產量的預估。該技術能夠幫助農民或農業管理部門提前了解水稻產量，進而做出更精確的生產與管理決策，提高農業生產效率與資源配置的合理性。

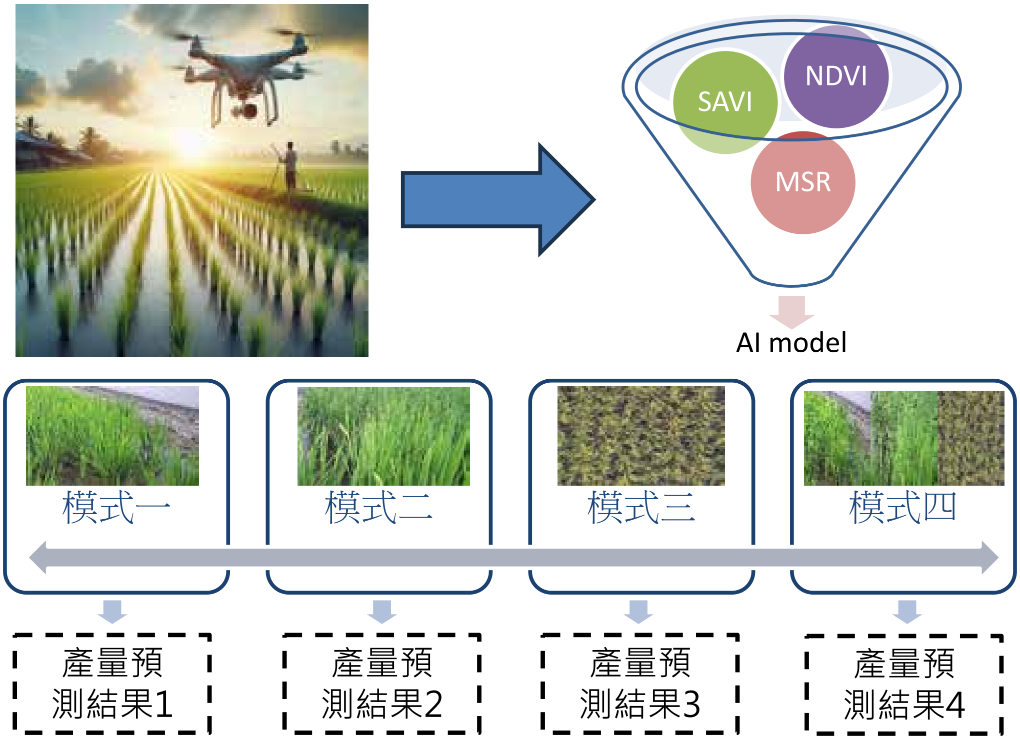


圖 3. 產量預測技術

2.1.4 穀粒水分預測技術

本技術的建構方法分為兩個主要部分：植體處理與影像分析。

1. 植體處理

首先，進行稻株樣本的採集及穀粒的脫粒，並對每個稻株的穀粒進行含水量測定。每次從脫粒後的穀粒中選取 150 粒以上，分三次進行含水量測定，並使用紅外線碾壓式含水量測定儀進行測量。這部分的數據將用於建立穀粒水分的基準數據。

2. 影像分析

在影像分析部分，首先進行光譜分析，並對影像中的稻穗進行分類與特徵提取。使用光譜數據，特別是選取對穀粒水分具有高靈敏度的波段進行分析。除 RGB 波段外，還通過植生指數（如 GI、VARI 等）進行光譜分析。針對不同波段組合進行優化處理，並對影像中的穗葉進行分離，專注於稻穗部分的特徵提取。

由於不同含水量的穀粒會表現出不同的表型特徵，為了凸顯這些顏色變化，影像將轉換至 HSV (色相、飽和度、明度) 色彩空間，並提取 H 波段來觀察穀粒的表型變化，通過將高敏感度波段信息進行疊加，並利用多層感知機 (multilayer perceptron, MLP) 將影像數據與實際的穀粒含水量進行回歸分析，建立穀粒含水量推估模型 (Yang et al., 2019; Zhang et al., 2020)。該技術能夠通過影像分析與實際測量數據的結合，準確預測水稻穀粒的水分含量，並提供精確的水分管理數據，有助於農民及農業管理部門在穀粒乾燥過程中進行更有效的監控與管理 (如圖 4)。

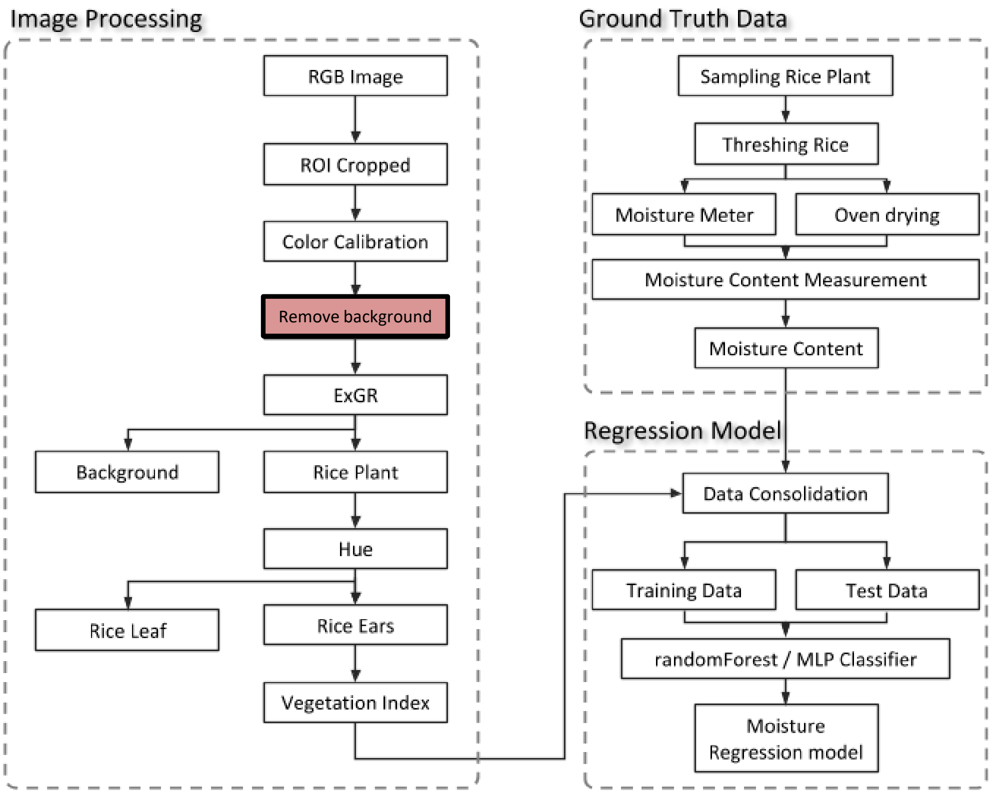


圖 4. 穀粒水分預測技術

2.2 手機與 IoT 的整合應用

2.2.1 褐飛蝨警示技術

本技術的核心在於建立一個影像辨識系統，該系統的運作流程包括影像收集、辨識核心建構、優化與完成系統的設計。首先，通過大量收集水稻莖基部的褐飛蝨影像，這些影像將作為模型訓練與檢驗的資料。使用機器學習與演算法分析影像中的褐飛蝨特徵，建立辨識模型 (Feng and Wang 2021; Gyamfi et al., 2022; Liu et al., 2016)。隨著更多情境下的水稻莖基部影像的加入，模型將不斷優化並提高辨識準確性 (Lin et al., 2019) 辨識系統部署於伺服器，使用者可上傳田間影像至伺服器，經過辨識後，系統將回饋辨識結果，提供即時的病蟲害監測資訊，幫助農民更早發現並處理褐飛蝨問題 (如圖 5)。

2.2.2 智能化灌溉水管理技術

本技術結合水田感應器、資料傳輸模組及垂直升降式電動水閘門或抽水馬達，構建了一個智慧灌溉水監控管理系統。該系統依據水稻的生育狀態，通過監控平台自動調整水位，並能夠根據不同的生育時期調整灌溉需求 (呂等，2013)。使用者可通過行動裝置上的應用程式監控並管理水稻灌溉狀況，達到節水、省電、省工以及提升水稻品質的目的。這種智慧灌溉系統不僅能有效節省水資源，還能提升作物生長環境的穩定性，實現精準農業管理 (如圖 6)。

圖 5. 褐飛蝨警示技術

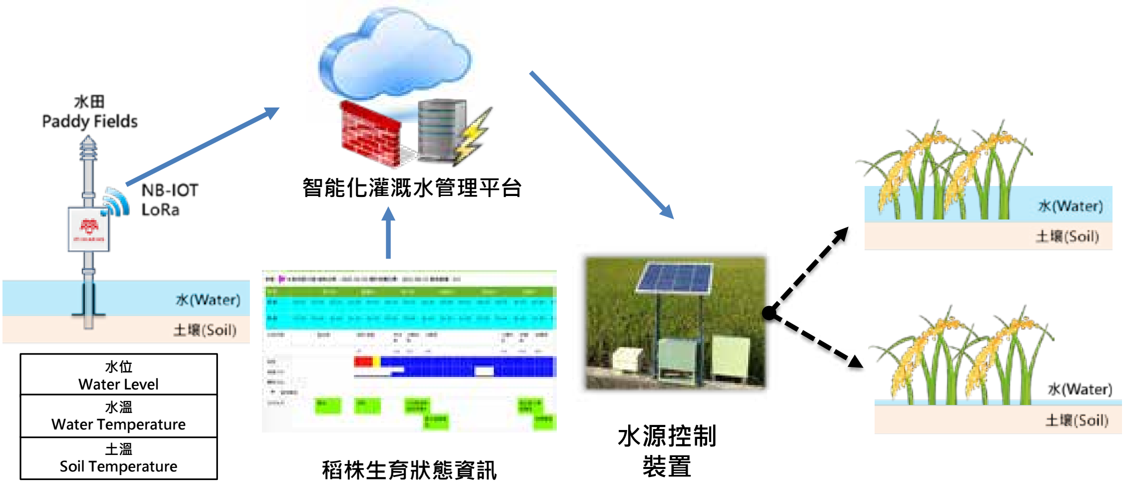


圖 6. 智能化灌溉水管理技術

2.3 智慧農業商業環境營建

智慧農業生態系的營建涉及多方合作與角色分工，並根據企業生態系的結構，將各參與者分為基石者、利基者與促進者三大角色。以稻作產業為例，這些角色分別承擔著不同的功能，協同推動智慧農業的發展。

基石者：作為價值整合者，基石者是稻米產銷專業區的營運主體，負責整合資源與協調各方合作，為整體生態系提供穩定的運營基礎。

利基者：利基者提供獨特的技術與資源，這些資源可能包括農業相關的軟硬體設備與專業服務。他們的貢獻在於提供能夠支持智慧農業的技術創新，進而提升農業生產效率。

促進者：促進者則是提供關鍵資源和支持的角色，通常包括政府、法人機構、學術單位等。他們主要負責提供資金、技術與政策支持，促進生態系中各方的協同發展。

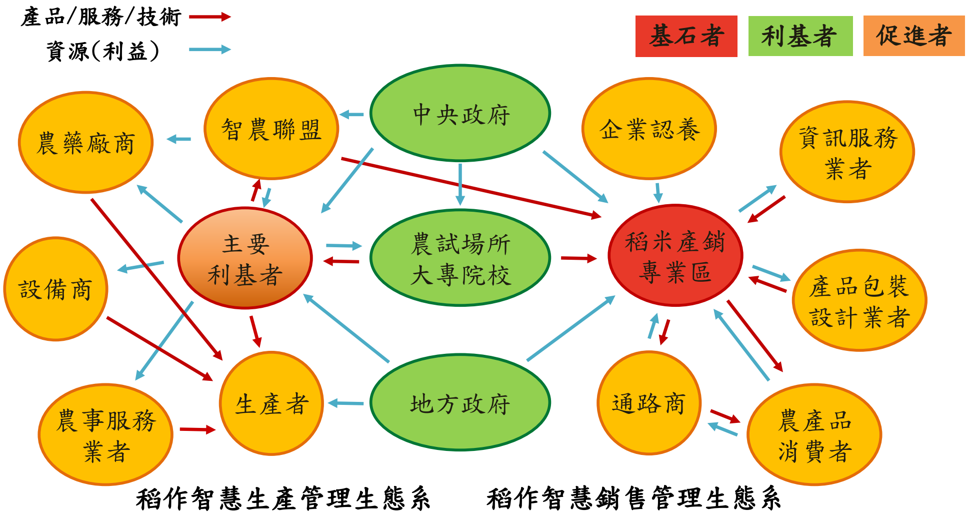


圖 7. 稻作智慧產銷生態系

三、結果與討論

隨著時代的變遷與科技進步，產業效率的需求日益提升，經營模式也在不斷變革。農業技術從早期依賴勞力與經驗的露地栽培，逐步發展為依靠機械與技術的簡易設施栽培，再進一步演化為以知識與自動化為基礎的精密設施栽培。隨著自動化技術、物聯網以及遠端控制技術的發展，農業生產應邁向智慧化與數位化，從過去“人當機器用”的模式，轉向“機器當人用”，透過智慧農業技術與設備的應用，提升農業生產效率。參照德國工業 4.0 的理念，智慧農業強調在生產過程中運用智能機械與數據分析，以實現更高效的生產模式。透過數位服務與智慧化生產，可實現精準農業管理，不僅提高資源使用效率，還能提升生產效能與產品質量，從而增強農產品在市場上的競爭力。

在農業防疫與病蟲害管理技術上，稻熱病與褐飛蝨是稻作產業最重要的病蟲害。稻熱病是全球最嚴重影響稻米生產的真菌性病害之一。葉稻熱病警示技術作為現代農業防疫的重要突破，為農民提供數位化數據支持，實現精準防治，不僅有效節省防治藥劑、提高防治效果，還能避免環境污染和農產品汙染，滿足消費者對農產品安全的需求。實證數據顯示，該技術準確率可達 82%，實施此技術的田區可顯著減少防治次數，並節省防治成本，每公頃可節省約 8,000 元。褐飛蝨是水稻的主要害蟲，會造成稻株枯萎與產量損失，並傳播病菌。褐飛蝨警示技術利用手機影像上傳至雲端識別系統，並通過人工智慧分析，及時提供防治建議。該技術能迅速評估病害情況，提高病蟲害防治效率，減少農藥使用，降低生產成本，並有助於降低農產品汙染風險。

在營養管理與灌溉技術上，營養管理技術能夠為農民提供合理化施肥的數位依據，提升肥料利用效率，減少資源與人力的浪費。此技術不僅能節省成本，還能確保作物獲得適宜的營養供應，減少過量肥料對環境的負面影響。智能灌溉水管理技術則通過實時監控土壤濕度及氣象數據，幫助農民制定科學合理的灌溉計畫，進而提高水資源的使用效率和作物的生長環境一致性。實驗結果顯示，該技術可節省 30%的灌溉水量，並提高稻米品質，對減少甲烷排放和達成淨零碳排目標具有積極作用。

在產量預測與收穫管理技術上，產量預測技術整合無人機、多光譜感測、植生指數分析及人工智慧演算法，可根據不同品種在各生育階段的光譜表現差異，建立高精度的產量預測模型。實際應用中，該技術的預測準確度可達 85-90%，有助於農民掌握稻穀的預期產量，提前進行烘乾設備排程及倉容調整。穀粒水分預測技術通過多光譜數據預測穀粒的水分含量，幫助農民確定最佳收穫時機，以保證稻米的品質與產量。農民可利用此系統快速評估水稻的最佳收穫時間，避免過早或過遲收穫影響稻米質量。

在智慧農業生態系建構上，促進智慧農業的發展，將稻作作為智慧農業示範場域，進行技術與設備的導入與推廣。透過建立智農服務生態系，結合農業生產、技術研發、資通訊服務及政府機構，形成協作共生的模式，實現智慧農業技術的深度應用與擴展。由政府與企業共同推動，新型態的農事服務公司“數農智匯”將於年底成立，進一步推動智慧農業進入新階段。本計畫的實施將有助於提升農業生產效能，改善農民的勞動條件，減少資源浪費，並確保農產品品質。通過智慧農業技術的應用，可望促使農業產業結構升級，實現農業的可持續發展。

四、結論

智慧農業作為現代化農業管理技術的綜合應用，不僅顯著提升了農業生產的效率與精準度，還有效減少了農民的生產成本。更為重要的是，這些技術的發展為應對氣候變遷帶來的挑戰提供了切實可行的解決方案，從而保障了農業生產的可持續發展。儘管智慧農業技術帶來了諸多優勢，實施過程中仍面臨一定挑戰。一方面，許多農民對新技術與設備缺乏了解，並且經驗傳承不足，這可能會影響技術的普及與應用。另一方面，智慧農業設備具有較高的維護與更新需求，加上外部環境變化可能對設備運行造成影響，這些因素都為技術的實施與普及增添了難度。此外，由於智慧農業設備的精密性要求定期維護與升級，因此資金投入的高需求仍然是實施過程中的一大障礙。

然而，隨著稻作智慧產銷管理生態系的發展，田間資訊將實現即時可得，這不僅將大幅提升栽種效率，減少資源浪費，還能有效確保食品安全。這一轉型將促進供應鏈機制的建設，提升農產品銷售效率，並增強消費者對產品質量的信任與信心。展望未來，智慧農業的發展將持續朝向更便捷、更透明、更整合的方向邁進。在生產端，將致力於擴大生產規模、提升作業效率及降低生產成本；在銷售端，則會進一步完善產地溯源機制，優化銷售通路，提升市場競爭力。這些努力將有助於推動農業產業的轉型升級，實現智慧化、數位化的現代農業產銷模式，並為台灣乃至全球農業帶來新的發展機會，使其在競爭日益激烈的全球市場中更加具備可持續性與競爭力。

參考文獻

1. 呂椿棠、卓瑋玄、呂秀英、魏夢麗、林汶鑫。2013。利用累積溫度與資通訊技術提升稻作田間管理效率。良質米產業發展研討會專刊 1-7。
2. 楊明德、蔡慧萍、許鈺群、曾信鴻 (2018), “人工智慧模型之建置與應用 ,” 土木水利, 5 (5), 1-9.

3. 賴明信、李長沛、卓緯玄、顏信沐、吳東鴻、呂椿棠、張素貞。2013。良質水稻的健康管理。良質米產業發展研討會專刊 1-13。
4. Cen, H., Wan, L., Zhu, J., Li, Y., Li, X., Zhu, Y., ... & He, Y. (2019). Dynamic monitoring of biomass of rice under different nitrogen treatments using a lightweight UAV with dual image-frame snapshot cameras. Plant Methods, 15(1), 1-16.
5. Feng, J., & Wang, Z. (2021). Pedestrian Detection Algorithm in SSD Infrared Image Based on Transfer Learning. In Computer Supported Cooperative Work and Social Computing: 15th CCF Conference, ChineseCSCW 2020, Shenzhen, China, November 7–9, 2020, Revised Selected Papers 15 (pp. 697-704). Springer Singapore.
6. Guan, S., Fukami, K., Matsunaka, H., Okami, M., Tanaka, R.,Nakano,H., ... & Takahashi, K. (2019). Assessing correlation of high resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. Remote Sensing, 11(2), 112.
7. Gyamfi, N. K., Goranin, N., Čeponis, D., & Čenys, A. (2022). Malware detection using convolutional neural network, a deep learning framework: comparative analysis. Journal of internet services and information security., 12(4), 102-115.
8. Hatfield, J.L., A.A. Gitelson, J.S. Schepers, and C.L. Walthall. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. Agron. J. 100:117-131.
9. Lin, W. R., Lee, K. T., Wang, S. J., Lai, M. H., & Chen, P. H. (2019). A Monitoring and Forewarning System for Rice Planthoppers. Journal of Advanced Agricultural Technologies Vol, 6(3).
10. Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016). Ssd: Single shot multibox detector. In Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14 (pp. 21-37). Springer International Publishing.
11. Mahajan, U. 2016. Drones for normalized difference vegetation index (NDVI), to estimate crop health for precision agriculture: A cheaper alternative for spatial satellite sensor. International conference on innovative research in agriculture, food science, forestry, horticulture, aquaculture, animal science, biodiversity, ecological sciences and climate change (AFHABEC-2016). New Delhi.
12. Moore, D., G.D. Robson, and A.P.J. Trinci. Second edition. 2021. 21st century guidebook to fungi. p. 374-376. 14.9 plant disease basics: the disease triangle. United Kingdom. University of Cambridge.
13. Prasad, A.K., Chai, L., Singh, R.P., Kafatos, M., (2006). Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinformat. 8 (1), 26–33
14. Yang, Q., Shi, L., Han, J., Zha, Y., & Zhu, P. (2019). Deep convolutional neural networks for rice grain yield estimation at the ripening stage using UAV-based remotely sensed images. Field Crops Research, 235, 142-153.
15. Zhang, N., Su, X., Zhang, X., Yao, X., Cheng, T., Zhu,Y.,... & Tian, Y. (2020). Monitoring daily variation of leaf layer photosynthesis in rice using UAV-based multi-spectral imagery and a light response curve model. Agricultural and Forest Meteorology, 291, 108098.

Development and Implementation of Smart Agricultural Technologies for Rice Cultivation: Building a Business Ecosystem

Ming-Hsin Lai[1], Dong-Hong Wu[1], Yi-Nian Chen[2], Shou-Horng Huang[3]

[1] Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.
[2] Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.
[3] Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

The first phase of the Smart Agriculture Program for rice cultivation, initiated in 2017 (2017–2020), was designed to address the needs of industrial development by focusing on the research, development, and promotion of smart agricultural technologies. This phase successfully advanced industrial transformation and increased awareness of the concept of smart agriculture. With the launch of the second phase in 2023 (2023-2026), the program shifted its focus to enhancing efficiency, improving safety, and reducing risks. It emphasized the implementation and industrialization of technologies to ensure farmers reaped direct benefits from the advancements while creating new business opportunities. Successfully implemented technologies include warning technology for rice blast and brown planthoppers, nutrient and irrigation water management techniques, and yield and grain moisture prediction technologies. Through ecosystem development, the program established a commercial service model and facilitated the formation of new agricultural service companies, paving the way for the future development of smart agriculture by delivering measurable advantages and business opportunities for farmers.

Keywords: Rice, Smart agriculture, Business ecosystem, Multispectral image, Artificial intelligence

以即時動態定位技術提升作物管理與農機運作效率之應用

張翊庭、賴俊融、楊心如、郭鴻裕、劉滄棽
農業部農業試驗所農業化學組

摘要

本研究探討即時動態定位 (real-time kinematic, RTK) 技術在農業中的應用，旨在提升作物管理的精度以及農機操作效率。RTK 技術是一種基於衛星導航系統的高精度定位方法，能提供公分級的精度，大幅提高農業作業的準確性和自動化程度。透過這項技術，農業經營者可實現包括作物精準施肥、除草、灌溉，以及無人農機導航等多項功能，從而降低人力投入與操作誤差，提升農業生產的整體效能。為驗證 RTK 技術的實際應用效果，本研究以即時動態定位技術 (RTK) 為基礎，探討其在精準農業中提升作物管理及農機運作效率的應用潛力。研究涵蓋兩大主題：(1) 利用密度分群演算法 (density-based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN) 處理農機軌跡數據，以準確區分作業農地範圍並有效去除雜訊數據；(2) 結合光達技術進行果樹參數測量與產量估算。研究結果顯示，RTK 定位系統提供高精度的公分級定位，結合 DBSCAN 技術能顯著提升農地區域劃分準確性；而光達數據與深度學習模型的應用，可成功估算出香蕉與鳳梨釋迦的產量，並精確分類其採收期與生長期。本研究提供即時動態定位與光達技術的結合在精準農業中的應用範例，為提升農業生產效率及資源管理提供技術基礎。

關鍵詞：即時動態定位、密度分群演算法、精準農業

一、緒論

精準農業是基於觀察和準確因應田間變化的農業管理概念，其目標是透過較少資源和降低生產成本的情況下，提高糧食生產之效率。而全球導航衛星系統 (global navigation satellite system, GNSS) 是精準農業的重要關鍵，因為取得位置資訊是實現區域化作物管理的必要條件 (Lan et al., 2019)。即時動態定位 (RTK) 技術是利用衛星進行即時高精度定位技術，其運作原理是同時在參考站與移動站接收來自衛星的信號，並透過通訊設備將參考站的觀測數據傳送至移動站。移動站利用這些數據進行差分計算，相關應用設備可在移動過程中即時獲得精確的定位坐標 (Leick, 2015)。透過農業試驗所於全台架設 35 個 RTK 基準站 (平地 18 站、高山 17 站)，提供涵蓋全台本島農業 RTK 精密定位服務，提供農民於農田及坡地進行噴藥施肥、水田整平等農業相關應用。本研究將介紹應用 RTK 精密定位服務來進行資料蒐集及結合光達應用於果樹產量推估之成果。

二、材料與方法

2.1 農機軌跡資訊蒐集及數據處理

本所採用 GNSMART (GNSS state monitoring and representation technique) 是由德國 Geo++公司開發的軟體系統，專為全球導航衛星系統 (GNSS) 的網路即時動態 (network RTK) 應用而設計。其主要功能是處理來自多個參考站的數據，生成高精度的 GNSS 校正資訊，並將其提供給使用者使用。因農機當天通常需要作業多塊田地，而每塊田地分布在不同區域，雖操作者可通過視覺觀察了解作業區域。然而，在數據處理方面，則需要提供數值推算，以區分各個作業區域。一般而言，會使用集群分析將數據分群，本研究使用密度分群演算法 (density- based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN) 分群演算法進行分群 (Ester et al., 1996)，主要參數有ε (epsilon) 與$minPts$，當某點的ε-鄰域內點數達到$minPts$時，該點標記為核心點 (紅色點) 同屬一群。核心點的ε-鄰域可以將其他核心點和非核心點 (黃色點) 通過密度連接起來，則為非核心點 (點 B 與點 C)；而未被任何ε-鄰域覆蓋或未達到 $minPts$ 的點 (藍色點) 則被視為離群值 (outlier) (Chire, 2011)。

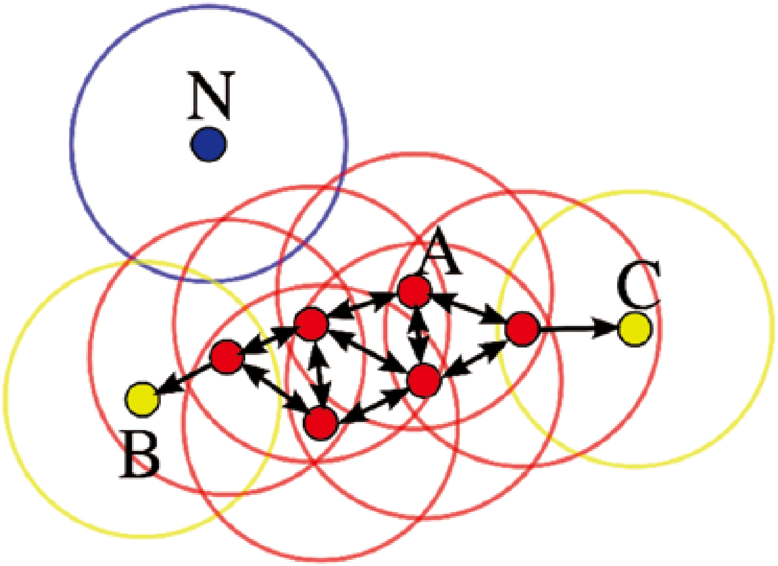


圖 1. DBSCAN 分群演算法核心概念圖

2.2 農機軌跡資訊蒐集

本研究所採用的軌跡紀錄設備為本所研發之 RTK on Board 裝置，該裝置可安裝於各類農業機械上。其核心採用 TI 32 位元 Tiva™ C 系列 ARM Cortex™ 處理器，具備低功耗設計，內建 4G LTE 上網功能，可接收 GNSS 訊號以進行 RTK 和 PPP-RTK 高精度定位；內置 MicroSD 儲存裝置，最大支援 2TB 儲存容量；兼容多種標準格式，包括 NTIRP、RTCM、SPARTN 和 CLAS；並支持 FTP 檔案上傳功能。此裝置還具備多樣化的通訊協定支持，如 TCP、UDP、MQTT、CAN 和 UART，提供農業機械定位和數據傳輸高效率之服務。

2.3 動態定位技術(RTK)應用於光達果樹測量

本研究利用光達技術進行果樹位置、數量、樹高、體積及葉面積密度的估算，以提升數據準確性並減少現地調查人力需求。果樹位置與數量的測量採用模板匹配(template matching) 方法，通過挑選數個光達掃描的果樹數據建立三維模板(template)，在光達數據中尋找與模板高度相關的座標，作為果樹的位置，期望以此取代傳統現地測量方式。樹高的計算利用光達雷射光接觸果樹表面與地表的特性，生成冠層高度模型 (canopy height model, CHM)，進而推估果樹樹高，並獲取高精度的樹高數據。在體積估算方面，本研究使用區域成長分割法 region growing segmentation)，以果樹中心點為基準向外擴展，分割果樹範圍，完成範圍分割後，單株光達數據即可轉換為果樹體積，提升體積估算的準確性。此外，葉面積密度 (leaf area density, LAD) 的計算基於光達技術中雷射光路徑與葉片接觸的特性，統計單一立方體 (Voxel) 內雷射光通過次數與接觸葉片比例，計算葉面積密度，並結合前人研究的葉量轉換常數，將其換算為葉量，有效解決傳統果樹葉量測量的現況。

三、結果與討論

3.1 定位服務與精度

RTK 技術能在不同農業場景中提供穩定的公分級定位，這為精準施肥、播種和灌溉等作業提供了穩定的技術支持 (Bisnath, 2020)。本計畫經財團法人全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF) 認證實驗室校正結果水平為 ±1.5 公分，垂直為 ±1.1 公分，彙整如表 1 所示，其中下表單位為 (mm)。本研究開發農機軌跡管理平台系統，以提供精密定位服務及即時監控功能。該系統支持現場人員掌控即時資訊，同時協助所內人員同步監控農機現地作業狀況。系統設計具備多機同步監控能力，可同時監看多部農機的即時作業情況，確保作業進程的有效掌握與協調。此系統為提升農業生產效率及數據管理提供了穩定且精準的技術支持 (圖 2)。

3.2 農機軌跡資訊成果

本研究採用密度分群演算法 (DBSCAN) 進行分析，結合農地作業的時間間隔特性，以提高農地判定的準確性。透過歷史軌跡數據的案例實作 (如圖 3 所示)，試驗結果顯示，該方法能有效去除道路上的無效軌跡點。然而，由於部分作業農地的坵塊位置相近，可能導致聚類結果出現誤判，將鄰近的坵塊視為同一農地。為解決此問題，本研究在分析過程中增加了農地作業結束時間的參數，以便更精確地區分不同坵塊的作業範圍與邊界。透過監控平台提供現場人員即時資訊掌控功能，並支援研究人員同步監控農機現地作業狀況。可同時監看多部農機即時作業，如 113 年 11 月 8 日協助監控台東三部水稻收割機之水稻搶收作業，及同步監控西部 1 台水稻收割機現地產量取樣調查作業，掌握現地資料收集作業情況與速度，有效提升資料處理與分析效率，加速全國水稻產量估測作業流程 (圖 4)。

3.3 光達果樹測量成果

本研究利用 RTK 無人機光達及背包式光達進行高密度的點雲資料測量 (高於 200pts/m^2)，獲得香蕉與鳳梨釋迦的位置、樹高、樹冠幅體積和穿透率等參數，並藉

此推估果樹產量，在測量果樹參數方面，位置是最重要的因子，當獲得果樹位置後即可以推算樹高，體積和穿透率， 光達掃描的香蕉樣區位於屏東縣內埔鄉，將空拍照片與光達樹高融合成四波段的影像資料 (R, G, B, CHM)，目的為分類香蕉的採收期與生長期，再以深度學習 (Mask R-CNN) 模型偵測香蕉位置，精確度達 85%，產量推估方面，利用多元線性回歸模型，配合交叉驗證 (CV, crossvalidation)，估算單株香蕉誤差為 24.39 ± 3.01 kg，推估 3 公頃面積的總產量為 127.48 公噸；鳳梨釋迦的光達掃描的樣區位於台東縣台東市，其利用模板匹配法 (template matching) 偵測果樹位置 (用於樹頂不明顯的果樹)，偵測果樹位置整體精確度為 99%，產量推估鳳梨釋迦單株的誤差為 44.56±2.22 kg，推估 4.25 公頃面積的總產量為 86.7 公噸， 因此光達技術能有效分類香蕉與鳳梨釋迦的產期，並且估算其產量。

表 1. 定位結果

序號	ΔX	ΔY	ΔZ	水平
1	-10	-9	10	13
2	-7	-10	10	12
3	10	-10	-9	14
4	-9	10	10	13
5	10	-11	-9	15
6	9	10	11	13
7	8	9	10	12
8	-8	9	-10	12
9	-8	8	-8	11
10	-6	9	11	11
11	10	9	10	13
12	-3	-10	-9	10
13	8	-10	10	13
14	-9	-10	10	13
15	10	9	-10	13
16	6	-9	10	11
17	7	-9	-9	11
18	10	9	-10	13
19	-8	8	11	11
20	-9	-10	-11	13

*本表格整理自 TAF 認證報告

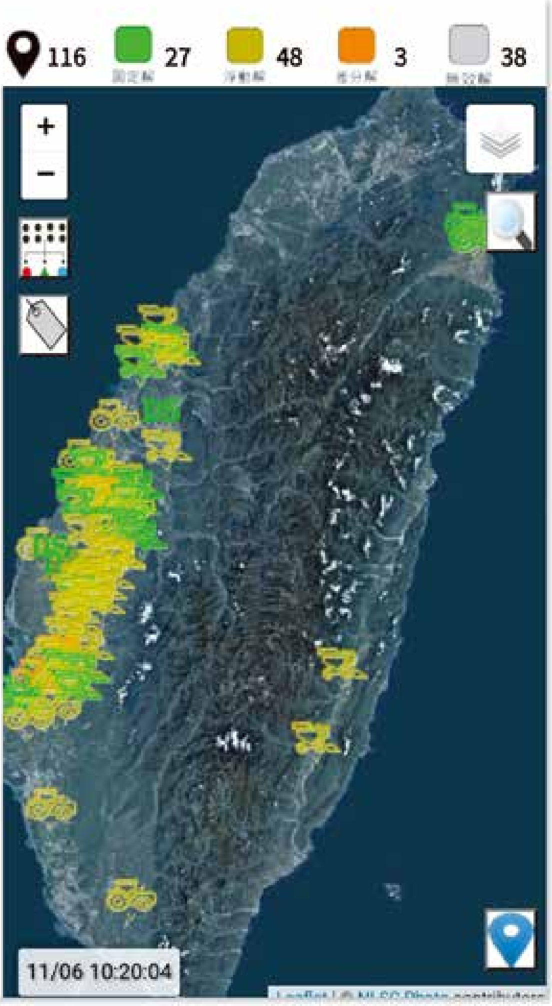


圖 2. 及時監控精密定位服務視窗

圖 3. 經 DBSCAN 分群演算法處理後之軌跡圖

圖 4. 東部水稻收割分布圖

四、結論

本研究結合即時動態定位 (RTK) 與光達技術，作為應用於提升精準農業的管理效率的案例分析。由認證實驗室之校正報告可知 RTK 技術提供水平精度±1.5 公分、垂直±1.1 公分的高精度定位，支持農田作業的即時監控與數據管理，有效提升農業活動的準確性與效率。同時，利用密度分群演算法 (DBSCAN) 處理農機軌跡數據，成功去除道路上的無效軌跡點，並透過時間間隔參數優化農地作業範圍的判定，解決因農地坵塊相鄰導致的誤判問題。光達技術進一步精確測量果樹位置、樹高、體積及葉面積密度，並結合多元線性回歸與深度學習模型，估算香蕉與鳳梨釋迦的產量，且能有效分類果樹的採收期與生長期。整體而言，RTK 與光達技術的結合顯著提升了農業生產效率、減少人力成本，並為農業數據管理與生產估測提供穩定之技術基礎。未來可進一步改善此結合模式，推動在更多作物管理與資源分配領域的應用，實現精準農業目標。隨著農業進入智慧化與數據化的新紀元，RTK (即時動態定位) 技術的應用，為農業機械賦予高精度作業能力，顯著提升農業生產效率與品質。在智慧農機市場快速發展的驅動下，不僅限於大型農業機械，針對不同生產環境的需求，也逐步推出多樣化的小型輕便農機解決方案。未來，透過高精準定位技術與多元感測器的整合應用，將能精確識別每塊田區的栽培現況，提供農民以數據為基礎的精準田間管理支持，提升農業資源配置，實現最佳化生產效益。此發展不僅推動農業向精準化、高效化及智慧化邁進，更為全球糧食安全及永續發展注入新的活力。

誌謝

誌謝本研究承蒙農業部「113 農科-11.1.1-農-01 整合智農技術建立果樹精準農耕(2/4)」與農業部農糧署「113 農再-2.4.1-1.1-糧-033 提高省工農業機械精密定位示範計畫」經費支持得以順利完成。

參考文獻

1. Lan, H., Elsheikh, M., Abdelfatah, W., Wahdan, A., & El-Sheimy, N. (2019, September 16-20). Integrated RTK/INS navigation for precision agriculture. 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019) Miami, Florida, USA.
2. Bisnath, S. (2020). Relative Positioning and Real-Time Kinematic (RTK). Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, 1, 481-502.
3. Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996, August). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In kdd (Vol. 96, No. 34, pp. 226-231).
4. Chire,"DBSCAN-Illustration,"[Online].Available: https://zh.wikipedia.org/wiki/File:DBSCAN- Illustration.svg.
5. Leick, A. (2015). GPS satellite surveying. Wiley. (pp. 401-474). Real-Time Kinematics Relative Positioning.

The Application of Real-Time Kinematic Positioning Technology to Enhance Crop Management and Agricultural Machinery Efficiency

Yi-Ting Zhang*[1], Chun-Jung Lai[2], Hsin-Ju Yang[3], Horng-Yuh Guo[4], Tsang-Sen Liu[5]

[1] Associate Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.

[2,3] Research Assistant, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.

[4] Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.

[5] Researcher and Director, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.

ABSTRACT

This study explores the application of real-time kinematic, RTK (RTK) positioning technology in agriculture, aiming to enhance the precision of crop management and the operational efficiency of agricultural machinery. RTK technology, a high-precision positioning method based on satellite navigation systems, provides centimeter-level accuracy, significantly improving the accuracy and automation of agricultural operations. With this technology, agricultural operators can achieve various functions, including precision fertilization, weeding, irrigation, and autonomous machinery navigation, thereby reducing labor input and operational errors while enhancing overall agricultural productivity. To verify the practical applications of RTK technology, this study focuses on its potential to improve crop management and agricultural machinery efficiency in precision agriculture. The research encompasses two main themes: (1) using the density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) algorithm to process agricultural machinery trajectory data, accurately delineate farmland boundaries, and effectively eliminate noise; and (2) integrating LiDAR technology to measure fruit tree parameters and estimate yields. The results demonstrate that the RTK positioning system provides high-precision centimeter-level accuracy, and when combined with the DBSCAN algorithm, it significantly enhances the accuracy of farmland boundary delineation. Furthermore, the integration of LiDAR data and deep learning models successfully estimates the yields of bananas and sugar apples while precisely categorizing their harvesting and growth periods. This study offers a practical example of the integration of RTK and LiDAR technologies in precision agriculture, providing a robust technical foundation for improving agricultural productivity and resource management.

Keywords: Real-Time Kinematic positioning, DBSCAN, precision agriculture

溫室智慧化到數位轉型所面臨的挑戰

呂椿棠
農業試驗所產業發展服務中心研究員兼主任

摘要

隨著科技的進步和農業需求的變化，農業設施溫室正朝向智慧化與數位轉型發展。荷蘭作為全球領先的溫室農業強國，其在溫室智慧化技術方面取得了顯著成果，並且持續探索如何將這些技術應用於數位轉型過程中。臺灣也在積極推動智慧農業，透過物聯網、大數據、人工智慧等技術實現農業生產的數位化和精準化。然而，無論是荷蘭還是臺灣，推動溫室數位轉型的過程中仍面臨多項挑戰。這些挑戰主要在技術整合、資金投入、數據標準化、政策支持、以及人才培養等方面。本文將對荷蘭溫室智慧化技術與臺灣智慧農業發展的現狀進行對比分析，探討兩國在數位轉型過程中的共同挑戰與應對策略，並提出未來可能的發展方向。

關鍵詞：溫室智慧化、數位轉型、人工智慧

一、前言

隨著全球人口不斷增長和資源短缺的問題日益加劇，傳統農業生產模式的可持續性面臨極大挑戰。尤其是農業生產過程中的高耗水、高能耗及對環境的影響，成為各國亟待解決的問題。因此，將現代資訊技術 (如物聯網、人工智慧、大數據等) 應用於農業生產中，成為提升生產效率、節約資源、減少環境影響的重要手段。智慧農業 (smart agriculture) 作為數位農業的一部分，正迅速改變著全球農業的生產模式，其中以農業設施溫室的智慧化為典型代表 (Lu et. al., 2019; Mekes, 2020) 。

荷蘭被認為是全球溫室農業的領先者，其溫室面積和高效能的作物產量在世界上名列前茅。荷蘭的智慧化溫室依靠先進的環控技術，如自動灌溉、溫濕度控制、LED 植物生長燈等設備，實現了作物生長條件的精確調控。這些技術能夠在保證作物高產的同時，最大限度地節省水資源和能源，並減少對化學資材的依賴 (Dijk, 2021)。此外，荷蘭的溫室農業已經實現了數據化管理和遠程監控，進一步提高了生產的精準度和可持續性。

臺灣作為亞洲地區的重要農業國家，近年來也積極推動智慧農業的發展。臺灣的智慧農業主要依賴物聯網、大數據、人工智慧等現代資訊技術，實現農業生產過程中的數字化和精細化管理。特別是在農業設施溫室方面，臺灣許多農場已經開始引入智能控制系統來提高作物的生長效率和品質 (Lu et. al., 2019; 呂椿棠 2020)。然而，與荷蘭相比，臺灣在智慧農業的發展上仍面臨不少挑戰，包括基礎設施不足、資金投入不足及技術創新方面的瓶頸。

二、材料與方法

本研究大略分為溫室環境資料蒐集和建模、環控建模與溫室業者訪查，主要資料收集方式包括以下幾個方面：

1. 蒐集種植大果番茄的溫室資料，溫室設備包括循環風扇、天窗、捲揚、遮陰網設備與作動器，感測器包括溫室內溫、濕度、pH 值、戶外氣象監測器等，相關感測資料透過資料搜集器與網路傳送到伺服器，共蒐集 2 個栽培季。
2. 溫室環控資料經過資料清洗，以取得符合大果番茄生長之合理資料，利用人工智慧 (artificial intelligence, AI) 的模型預測工具進行模式建模與測試，並開發應用介面提供溫室管理員使用，作為後續數位服務的工具。
3. 選擇參與農糧署「結構加強型溫網室設施」及「設置環境控制」的溫室作物栽培業者進行深度訪談，訪談內容包括業者的栽培技術現狀、設備內容，以進行潛力客群分群，做為未來推廣的潛力客群。

三、結果與討論

1. 環控管理模型建立

數位分身 (digital twin) 技術源自於工業製造領域，目前全世界都極力於農業生產的發展與應用，本研究利用大果番茄 2 個栽培作季的溫室環境監測、作動器控制及戶外氣象測站資料，對資料進行大數據分析與建立環控操作的數位分身模型。以人工智慧將管理者 (達人) 操作行為模式化，提供決策建議協助農場管理者進行精準管理。透過智慧化分析與決策協助溫室環控設備有效率管理，同時傳承栽培達人的經驗，對於新農民跨入農業的門檻可降低，也讓管理人員專注於作物生產管理與擴大經營面積，減輕溫室管理壓力與工作時間，降低農場管理人力負擔與支出。利用人工智慧的模型預測工具進行模式預測結果，比較數種模式的預測準確度以 LightGBM (light gradient boosting machine) 具有 80%以上的預測準確度，因此，後續的溫室環控設備管理建議作為，採用此模式進行系統控制與管理介面開發，如圖 1 (呂椿棠，2020)。溫室相關感測資料與作動設備控制，透過網路傳送伺服主機進行運算，再將作動器建議作為傳送到管理者行動載具，提供環境控制的決策參考。

2. 潛力客群分群

荷蘭的溫室農業在技術整合方面具有領先優勢，荷蘭的溫室系統通常由多種設備構成，這些設備包括自動灌溉系統、環境監控傳感器、LED 燈光系統等 (Mekes, 2020)。這些設備來自不同的供應商，雖然各設備都具備高度的專業性和先進性，但由於技術標準的不統一，導致不同設備間的數據兼容性較差，進而影響整體運行效率。

臺灣在這方面的挑戰更為顯著。由於智慧農業技術的發展相對較新，臺灣的農場普遍缺乏統一的技術平台，許多企業依賴不同的技術供應商，這使得系統間的數據互通性成為亟待解決的問題。此外，由於市場規模較小，臺灣的智慧農業產業鏈尚未完全成熟，這對技術整合造成了一定困難。

產業現況分析是了解問題與推展溫室智慧化最直接的方法，針對臺灣 200 多戶具備發展溫室智慧化的栽培者進行訪談，所得資料依據具備環境調控設備、環境感測元件、自動控制系統與水肥管理系統等 4 大項分別進行評分。此評分結果之分數分布約可分為 3 群，13-15 分、10-12 分及 9 分以下，具環控系統之設施農戶以評分 13-15 分為第一群，10-12 分為第二群，分析結果第一群約 15 戶農友，第二群約 43 戶農友。這些設施農戶依序將成為後續推展溫室智慧化的栽培首要對象，掌握目標對象與需求才能獲得推展的效益。

3. 數據標準化與數據管理

數據標準化與管理是溫室智慧化和數位轉型的核心問題之一，荷蘭的農業企業在大數據應用方面已經積累了一定經驗，但仍面臨著數據收集、儲存和處理過程中的標準化問題 (Dijk, 2021)。不同設備生成的數據格式不統一，且數據儲存與分析平台之間的相容性差，這使得大數據技術的應用難度加大。臺灣在這方面的問題則更為明顯，雖然臺灣積極推動數位化農業，但數據標準化問題依然存在，不同農場和設備間的數據對接和儲存方式不統一，使得農業數據的價值難以充分發揮，這也是現階段溫室智慧化要面臨的挑戰 (呂椿棠，2020)。

圖 1. 溫室環控決策之管理畫面

四、結論

溫室智慧化與數位轉型對於提升農業生產力、資源利用效率及環境可持續性具有重要意義。荷蘭作為全球智慧農業的先行者，雖然在技術應用和資源整合方面取得了顯著成就，但仍面臨著數據標準化、技術整合等挑戰。臺灣雖然在智慧農業的發展上處於起步階段，但具備較高的創新潛力，大家在推動溫室數位轉型過程中，都需要進一步加強政策支持、技術標準化與人才培養，以應對技術挑戰和資金不足的問題。

未來，應該加強政府與企業間的合作，促進技術的整合與創新，並制定更具針對性的政策來支持中小型農戶的轉型。隨著技術的不斷進步和政策的完善，溫室智慧化與數位轉型必將成為全球農業發展的重要趨勢。

參考文獻

1. 呂椿棠。2020。智慧溫室之數位分身創新應用。農政與農情。341，107-111
2. Lu C. T., Liu, T. S., Yang, C. K., & Tsay, J. R., (2019). The traceability system of agro-product is considered an approach that may lead to create product differ. J. Taiwan Agric. Res., 68(4), 261-273.
3. Mekes, J. J., (2020). Artificial intelligence in the greenhouse：When will human growers become obsolete?, HortiDaily.com, https://www.hortidaily.com/article /9231143/when-will-human-growers-become-obsolete/
4. Dijk, T. van, (2021). Data-driven growing：But that’s what I’ve been doing, right? , https://www.hortidaily.com/article/9305655/data-driven-growing-but-that-s-what-i-ve-been-doing-right/

The Challenges Faced in the Smart Greenhouse to Digital Transformation

Chun-Tang Lu

Researcher and Director, Agricultural Development and Service Center, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC

ABSTRACT

With the advancement of technology and the changing needs of agriculture, greenhouse farming is transitioning towards smart and digital transformation. The Netherlands, as a global leader in greenhouse agriculture, has made significant progress in greenhouse smart technologies and continues to explore how these technologies can be applied in the digital transformation process. Taiwan is also actively promoting smart agriculture, utilizing technologies such as IoT, big data, and artificial intelligence to digitalize and optimize agricultural production. However, both the Netherlands and Taiwan face various challenges in advancing greenhouse digital transformation. These challenges mainly include technology integration, funding, data standardization, policy support, and talent development. This paper compares the status of smart greenhouse technology in the Netherlands and smart agriculture development in Taiwan, analyzing the common challenges both countries face in digital transformation and exploring possible strategies for future development.

Keyword: Greenhouse intelligence, Digital transformation, Artificial Intelligence

智慧溫室之栽培管理與實務應用

洪福良
鍠麟機械有限公司

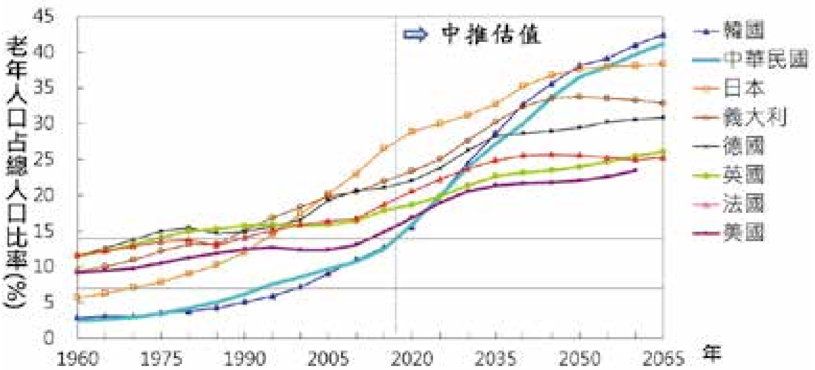
摘要

農業設施產業目前已開發出模組化之環控系統、物聯網傳輸模組及參數化智慧管理資訊共通平臺，促成溫網室升級，並減少人力需求，掌控作物最適栽培環境，依作物生理訊號，形成高產能作物生長微氣候，達到農作高收益，藉由建立智慧溫室設施各項控制設備對溫室內微氣象的新技術來降低栽培風險。並在全球化市場趨勢下，透過環控技術整合生產流程結合農業 4.0 以協助農友生產「高品質」、「安全」的農產品供應內需及外銷，以利發展標準化、高效化之智慧農業設施產業。

關鍵詞：大數據分析、智慧農業、栽種決策管理、農業氣象。

一、前言

近年來，台灣人口老化速度急遽攀升。根據國家發展委員會統計資料，台灣將於 2026 年進入超高齡社會。如圖 1 所示，相較於歐美及日韓，台灣在 2015 年起，老年人口占比大幅增加，推估 2065 年的老年人口占比將高過多數國家。此外，隨著台灣經濟型態轉變，依行政院主計總處統計資料，國內總就業人數自 67 年之 623 萬 1 千人增至 111 年 1,141 萬 8 千人，逐年攀升，增幅達 83.25%，其中服務業及工業部門就業人數均呈遞增趨勢，然農業部門就業人數卻持續減少，67 年尚有 155 萬 3 千人，至 111 年已降至 53 萬人，減幅高達 65.87%；若以就業年齡觀之 (詳表 1)，近 10 年 (102 至 111 年) 農業部門就業者年齡以 45 至 64 歲者占比最高，25 至 44 歲者次之，而 65 歲以上者占比雖位居第三，卻遠高逾全國就業者中 65 歲以上者之占比，顯示農業部門就業者高齡化情形相對其他業別嚴重。



資料來源：國家發展委員會「中華民國人口推估 (2018 至 2065 年) 」，國家發展委員會繪製

圖 1. 各國老年人口占比

表 1. 全國就業者及農林漁牧業就業者之年齡統計表 單位：千人；%

年	全國就業者各年齡人數及比率						農林漁牧業就業者各年齡人數及占比					
	人數	比率	15-24歲	25-44歲	45-64歲	65歲以上	人數	比率	15-24歲	25-44歲	45-64歲	65歲以上
102	10,967	100.00	7.13	54.82	36.05	2.00	544	100.00	2.02	24.26	56.43	17.28
103	11,079	100.00	6.98	54.02	36.85	2.14	548	100.00	1.82	23.36	57.30	17.52
104	11,198	100.00	7.10	53.49	37.17	2.24	555	100.00	1.99	23.47	57.22	17.33
105	11,267	100.00	7.22	52.97	37.52	2.29	557	100.00	2.51	24.96	55.48	17.06
106	11,352	100.00	7.32	52.59	37.70	2.39	557	100.00	2.51	24.42	55.66	17.41
107	11,434	100.00	7.52	52.24	37.78	2.45	561	100.00	2.67	22.99	56.15	18.18
108	11,500	100.00	7.58	52.05	37.84	2.52	559	100.00	3.39	23.17	55.97	17.47
109	11,504	100.00	7.39	51.83	37.99	2.79	548	100.00	2.92	23.36	54.74	18.98
110	11,447	100.00	7.10	51.38	38.47	3.06	542	100.00	2.58	23.62	53.69	20.11
111	11,418	100.00	6.75	50.80	39.12	3.32	530	100.00	2.46	22.87	53.31	21.36

資料來源：行政院主計總處歷年「人力資源調查統計年報」

台灣人口老化速度，在全球數一數二。根據國發會推估，2025 年台灣老年人口比率「超英趕美」，老年人口比率跨過 20% 門檻，正式踏入超高齡社會，成為老年國。對於農業人口的衝擊將更為嚴重。台灣務農者人口的老化，農村青年並無意願留守農業，可能導致務農人口的斷層，將來出現無人可耕的危機。農村榮景不再的理由很多，但主因是務農所得偏低，而務農所得偏低的原因除了國家採取低糧價政策外，農村產業機會低落更是主因。其次，農地不斷被徵收而面積大幅減少，農地不斷被改建房舍而顯零碎，可耕之地越來越少，將來要謀求糧食自給更形困難。

二、智慧農業栽種應用

現今農業管理面臨各種挑戰，除台灣氣候多變之外，農業經驗流失、農業人口老化以及人力短缺等問題都讓以小農為主體的台灣農業面臨永續發展的挑戰。因此，智慧農業科技的前瞻規劃已成為國內外政府主要推動之目標，如日本積極開發的應用智慧型農業 (Agriculture Informatics) 技術，以及德國以工業 4.0 為藍本發展 Farm4.0 先導計畫等，而國內亦積極推動智慧農業 4.0，希望透過智能生產與智慧化管理，突破小農單打獨鬥之困境，提升農業整體生產效率與量能，因此，智慧農業栽種應用發展已成為未來農業種植應用趨勢。

大數據與機器學習近年來已開始引進至農業應用領域上並證實對於栽種條件、產量以及良率等品質關鍵指標具正面效果，如機器學習方法對大規模作物產量預測的能力 (Alberto Gonzalez-Sanchez, 2014) 說明機器學習可精準預測作物產量，為實用且有效的解決方案；應用機器學習方法於作物種植條件之研究 (陳孟萱，2015) 利用決策樹分類模型來進行作物產量與質量的分析，進而歸納出最佳化的種植法則；應用機器學習於作物生長關鍵因素及產量與良率預測之研究 (徐芳玉，2017) 利用機器學習方法在種植的各個期間建立預測模型以進行分析，從而使傳統農業能進步到精準農業，讓種植更有效率。

智慧物聯網環控系統以溫室栽培與網室供果園栽種環境為主，由於氣候、供水以及種植面積為主要影響作物產量之因素，智慧環控系統將透過遙感技術 (RS)、全球定位系統 (GPS)、地理資訊系統 (GIS)、專家系統 (ES)、智慧化決策知識系統、大數據分析等技術，以巨量環境資料為基底發展雲端平台，結合短中長期氣象預測與作物生長預測模式，解決農耕人力不足與精準農業資料不全之問題，並應用 AI 技術於快速影像辨識、作物生長狀況辨知和管理決策系統，即時與農業生產過程結合並運用這些技術，快速進行土壤、作物生長監測及與當時的氣候作結合分析，進而讓系統做出決策建議。

(一) 智慧環控設施種地應用

由於農業人口的減少與老化現象，加上智慧科技的持續進步，全球農產業已陸續將智慧農業資訊感知產品應用於農作物栽種環境中，如 Hamrita T.K.和 Hoffac ker E.C.開發出土壤性質監測系統，運用 RFID 技術，實現了對土壤溫度、濕度等的即時監測，對後續植物的生長狀況提供研究的依據，將 RFID 技術應用於監測果樹的資訊，從而分析果樹的生長狀況 (呂等人，2018) ；中國農業大學在新疆建立的土壤墒情和氣象監測設備可以自動監測農作物生長的土壤墒情資訊，可以實現按照土壤墒情進行自動滴灌，從而達到節約農業用水的目的 (姚等人，2011)。

以整體國內智慧農業設備來說，目前一些農業資訊感知產品已在農業資訊化示範基地開始運用，但大部分產品還停留在測試階段，產品在穩定性、可靠性、低功耗等性能參數方面還和國外產品存在不少差距，離產業化推廣還有一定的距離。因此智慧環控系統於設施的環境與生長監測系統，針對栽種作物的各項因素採用不同的感測器收集如土壤溫度、濕度、降水量、空氣濕度和氣壓、光照強度、與風速風向等作物生長參數，為設施環境精準調控提供科學依據。智慧環控系統之感測器可以對目標監測區內的空氣溫濕度、土壤溫濕度、光照強度、PM 2.5 等農業環境資訊進行即時收集，為精準農業環境監測提供了有效的解決方案，有助於農民們更加有效地提高作物產量。在作物的生長過程中還可以利用包括光譜、多光譜圖像、冠層溫度、冠層光照及環境溫濕度等感測儀器了解其作物生理資訊進而有效控制溫室內的微環境狀態。

(二) 適地性天氣預報模組應用

自動化維運中尺度數值預報模式 (WRF，The Weather Research and Forecasting Model) 是由國家大氣研究中心 (NCAR) 與美國國家海洋與大氣管理局 (NOAA) 共同合作努力開發的成果，WRF 模型為一數值天氣預報 (NWP，Numerical weather prediction) 系統，可滿足大氣研究和操作預測需求。WRF 為數值天氣預報應用模型之一，可用來模擬和預測大氣。WRF 具有兩個動態 (計算) 內核、一個數據同化系統和一個允許平行計算和系統擴展性的軟體。該模型適用於從數公尺到數千公里範圍內的各種氣象應用。

未來智慧環控系統應採用最新高解析度的中尺度數值預報模式，模式的初始邊界資料採用來自 NCEP 全球預報模式資料，並且使用資料同化技術，加入台灣區域之探空觀測資料、地面測站資料以及鄰近海面溫度資料，而為取得較佳的預報表現與電腦運算效能，針對水平兩層巢狀網格解析度、垂直解析度、數值積分步距模式邊界條件等項目數值進行標準化制定，以利辨析出台灣地形複雜的環境差異智慧溫室栽培模式內設定的微物理與積雲參數法可引用簡芳菁 (2006) 研究 WRF 對於台灣梅雨最佳表現方案，以及使用簡芳菁 (2011) 在颱風預報精進技術研究及作業支援計畫中之研究結果為基礎，再

依季節與天氣系統特性進行微調測試，以獲取最佳準確度的預報模組。

溫室設施內智慧環控系統亦藉由導出中尺度數值預報模式產出之原始網格預報數據，產出各類天氣、預報與施作指標，並結合地理資訊系統匯出至數據庫與繪製成氣象圖資，展示於資訊平台介面上，該網頁具備動態查詢系統、簡訊發送與線上諮詢等功能，供農民們進行管理決策參考；此外，針對氣象預報上存在的誤差性與不確定性，將導入具備專業氣象預報證照人員協助轉化為一般民眾與農民們可理解之氣象數據呈現。

三、智慧物聯網智能環控系統於溫室設施應用

農業資訊感測主要技術領域包括農業生產環境資訊感知、農業生產物件個體識別資訊感知、農業空間資訊感知、動植物生理資訊感知等。其中農業生產環境資訊感知包括農業水體環境資訊感知、農作物生長土壤環境資訊感知、農業氣象資訊感知，農業資訊感知涵蓋農業生產前、生產中、生產後從環境資訊到動植物個體資訊獲取，採用農業資訊感知，將有效解決農業物聯網資訊獲取瓶頸，為農業智慧管理決策提供了可靠資料來源和技術支撐。

農業資訊感知通過作物生長土壤環境水分、電導度、氮、磷、鉀等養分信息獲取技術感知土壤環境資訊，並結合農業氣象資訊、作物生理資訊、遙感監測資訊等農業環境多尺度資訊，及時掌握瞭解作物生長環境各參數及作物自身生長變化規律，為指導農業精準灌溉、變數施肥、作物產量預估、乾旱疾病預警等提供資訊源及技術支撐。

物聯網智慧環控系統的研發應適用於溫室內之微氣象與土壤感測器模組與高效的栽培監測策略 (圖 2)，同時廣布建站於各大作物生產專區內，同步收集環境數據、生長定拍畫面與人工生長紀錄，再運用資料探勘分析技術，研究出專屬產地之品種、生理生長、產量、品質與環境變化的交互關係，建立經科學驗證適地適性的生產計畫與規範，並進一步利用專業氣象預報團隊之短、中、長期客製化預報數據，再導入機器學習技術，預測各產區作物未來生長模型、預估產期產量，並將上述專屬作物之智慧環控系統內的觀測數據、氣象預報數據與農民栽培模式中，預測作物生長之情形讓農民於手機 APP 可以「一查就有、一看就懂、一問就通」。

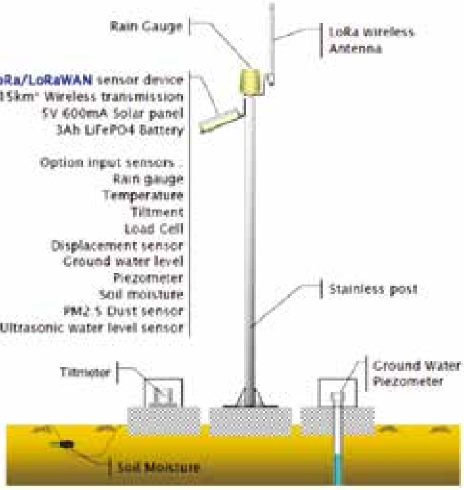


圖 2. 溫室內之物聯網土壤與環境感測裝置示意圖

(一) 氣象暨溫室設施內大數據收集與分析技術

將針對溫室外的氣象與溫室內環境感測資料等關鍵因子，透過作物與環境數據收集分析，進行溫室各種施作行為觀察與統計，作為栽培管理的決策依據，以利推估作物最佳採收期、進而穩定內外銷作物成熟度；並且研發分析運算模型、統整研擬工作流程框架，以利未來推動產業標準規範。

1. 資訊匯流界接系統技術開發

為了獲致作物產銷的良好數位化分工，將彙整產出數據資訊與軟體界接模組，可供產業生態圈之其他工作環節參考使用，包括電子商務、銷售與通路、甚至生產履歷等，亦可結合氣象預測，以利推動並儘早實現農業生產自動化與管理智慧化。

2. 溫室內環境數據作業管理技術開發

紀錄並觀察溫室內微環境與管理栽培作業，諸如整地、播種、中耕、管理、收穫，與溫室內環境數據資訊進行交相分析比對，進行數據清理及特徵工程 (characterization)、尋求迴歸演算模型建立 (regression analysis & modeling)、觀察其梯度 (gradient) 變化，再利用機器學習關鍵方法之一-決策樹，盤點探討灌溉、給肥與病蟲害防治等措施的交相影響程度，進而尋求優化效率與效益的有效途徑。

3. 環境數據作業管理技術開發

根據溫室環境、栽種時間與溫室管理資料，推估作物生長情況與採收時程；透過卷積神經網路 (Convolutional Nueral Network, CNN) 影像辨識技術的深度學習 (圖 3)，觀察特定作物生長情況，比對發育變異與環境影響，甚至透過不同病害別與蟲害特徵的相關照片，增進災害防治效益。

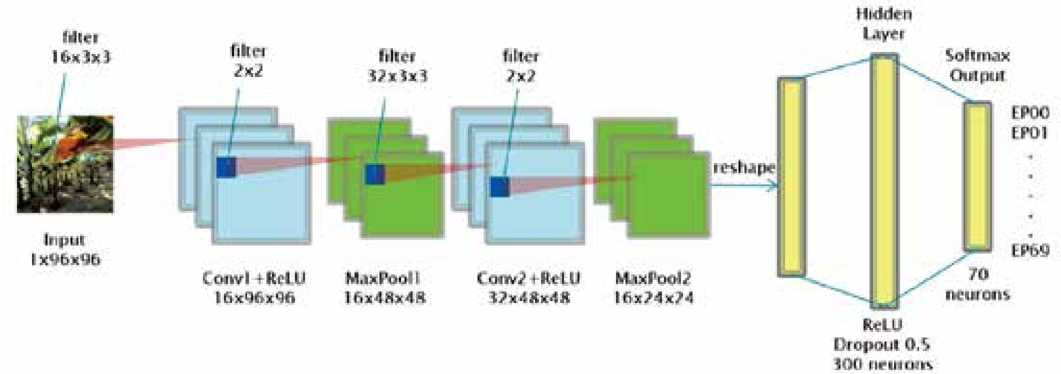


圖 3. 卷積神經網路 CNN 影像辨識運算流程示意圖

(二) 智慧環境監測設備建置

由於作物生長中，各類生長參數如溫度、濕度、降水量、空氣濕度和氣壓、光照強度與風速風向等要素對於作物之成長皆相當關鍵，因此需導入智慧感測裝置來監測每一生長參數狀態與數值，並結合物聯網概念，達到即時感測與通知，而應用在本國作物栽種上之各類感測器，根據資訊生成、傳輸、處理和應用的原則，可將作物栽種物聯網分成感知層、傳輸層、處理層和應用層。

農業氣象感測資訊內容是指與農業生產環境密切相關的空氣溫度、濕度、光照強度、風速風向、降雨量等農業氣象多參數資訊獲取。自然條件下，綠色植物進行光合作用製造有機物質必須有太陽輻射作為唯一能源的參與才能完成，不同波段的輻射對植物生命活動起著不同的作用，它們在為植物提供熱量、參與光化學反應及光形態的發生等方面，各起著重要作用。太陽輻射中對植物光合作用有效的光譜成分稱為光合有效輻射，光合有效輻射是植物生命活動、有機物質合成和產量形成的能量來源，它是形成生物量的基本能源，直接影響著植物的生長、發育、產量和產品品質。

溫濕度對植物的生產生長有著至關重要的影響，在相對濕度較小時，如土壤水分充足，則植物蒸騰較旺盛，植物生長較好。同時，濕度與作物病蟲害的發生也有密切關係，如小麥吸漿蟲喜濕度大的環境，棉蚜、紅蜘蛛則適宜在濕度較小的環境中生活。濕度大，易導致小麥銹病等多種病害流行。濕度小，容易引起白粉病等多種病害的流行。其戶外氣象站之感測器如圖 4 與圖 5 所示，囊括以下所列：

1. 光量感測器：利用光線的各種性質，以檢測物體是否存在或是表面狀態之變化等。光電感測器主要是由傳送光線的投光部位和接收光線的受光部位所組成。當投射的光線被檢測物體制遮蔽，或是反射回來時，到達受光部位的受光量就會產生變化。受光部位只要檢測到任何變化，就會將其轉換為電子訊號並加以輸出。一般所使用的光線以可視光 (主要為紅色，綠色、紅色則用來判別顏色) 和紅外線佔絕大部分。
2. 風向感測器：以風向箭頭的轉動探測、感受外界的風向信息，並將其傳遞給同軸碼盤，同時輸出對應風向相關數值的物理裝置。
3. 風速感測器：可連續監測上述地點的風速、風量 (風量=風速 x 橫截面積) 大小，能夠對所處供果園的風速風量進行即時顯示。
4. 溫濕度感測器：溫度是藉由電阻隨著溫度的變化狀況，對電阻進行量測從而量測溫度；濕度是依照感測器上之阻抗值或電容量的變化來轉換出濕度值。
5. 雨水感測器：可監測雨天與降雨量多寡，並轉成數定信號和 AO 輸出。

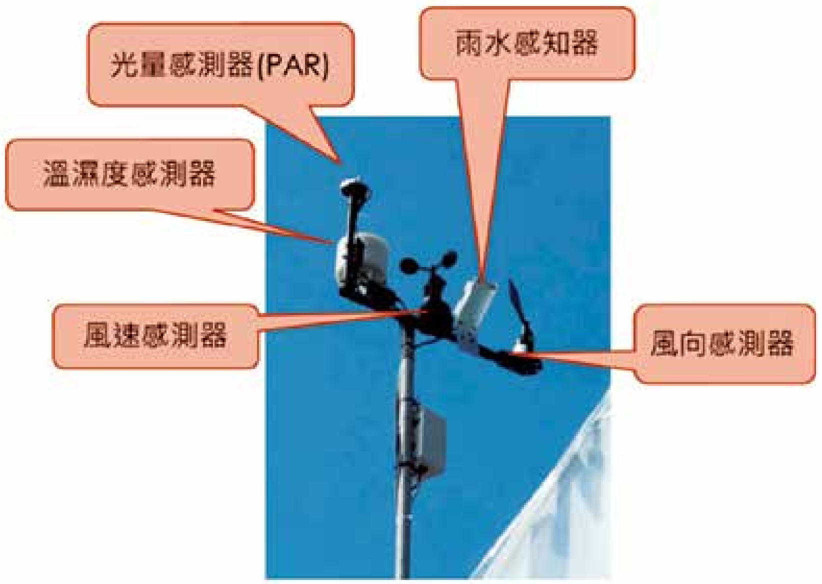


圖 4. 戶外氣象站建置

圖 5. 溫室內感測器建置

(三) 系統整合與雲端資料庫資料收集

智慧環控系統是透過 RS485 介面 PLC/HMI Master 模式連接，將 PLC/H-MI 資料傳送至雲端資料庫系統，可支援各種資料類型之 Modbus 暫存器 (Integer、Floating point)，不需實體 IP 地址及複雜的 Web-Server 架設即可完成遠端操控。智慧環控專家系統平台可於智慧型裝置，如手機、平板上遠端連回系統 SERVER，監測平均氣溫值、平均濕度值、溫度值、濕度、突波次數、故障異常等狀態。

過往農民們在種植上除了缺乏完整的適當供水與氣溫資訊外，也缺少資訊數位化資料庫之建置，僅能以過往的種植經驗來調整水分多寡以及種植時間，因此每當在遇到天災如颱風時便直接遭遇歉收虧損；此外，若僅了解未來之天氣狀態，卻無法即時正確解讀，種植的成效也往往不如預期。

智慧環控系統由前端可程式邏輯控制器 (PLC)、高精度氣象感測器與通訊網路模組組成，如圖 6 所示，首先感測器將設施內外所偵測到之環境資料送交可程式邏輯控制器進行編碼、暫存，再與控制策略條件-又稱經驗參數、作物資料庫做三方的大數據比對與計算，統整各項資料分析其優化參數之後，再對溫室環境控制設備進行實體控制，接著 PLC 依照所設定之時間間隔傳輸雲端通訊模組，運用 APP 軟體可顯示溫室內即時狀態、歷史資料回溯，在系統調整與控制方面則以圖控方式，逆向發送對應之 APP 命令，進行遠端雙向控制。人工智慧物聯網智能環控系統主要為新農業設施生產物聯網之構建 (感測層、網路層、雲端服務層及應用層等)，近一步了解農業設施內、外之生長環境、施肥、施藥、病蟲害等之網路監測與監控。並以作物生長模式之大數據分析，此為作物生理及行銷管理互聯網系統，如圖 7 所示。

圖 6. 智慧環控系統整合與雲端資料庫資料收集

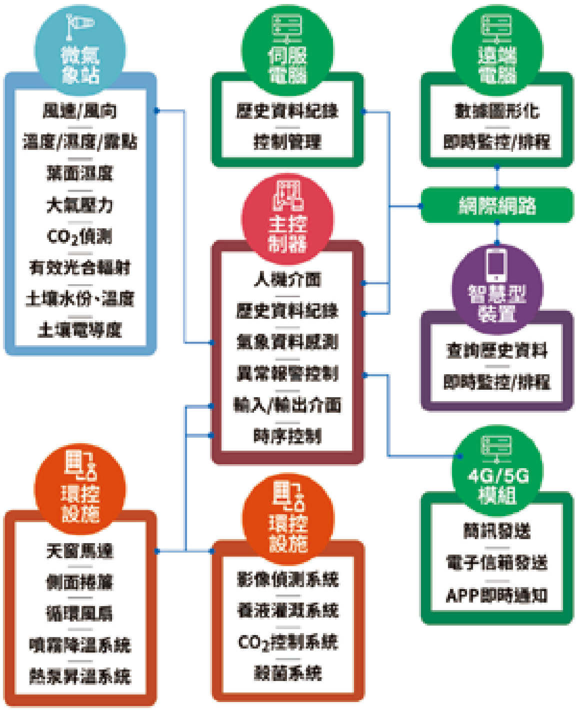


圖 7. 人工智慧物聯網智能環控系統架構

四、作物標準化水養液管理系統開發與建置

(一) 水養液管理系統

作物栽培過程中，灌溉、施肥、施藥等措施之時機皆以農民根據經驗法則主觀認定，但操作的最適時機及實際操作的使用者，都會影響判斷的準確性，不同肥料的施肥量過

多或過少，都會影響各元素的吸收，進而抑制作物生長。作物標準化水養液管理系統架構如圖 8 與圖 9 所示，原理採用適時流態監控調節技術、PLC 和恒壓變頻供水技術，可以利用時間或外部環境條件進行灌溉施肥程式設計，以達到自動調節灌溉施肥時間的目的。當使用外部條件灌溉施肥時，可以避免因為陰天或雨天灌溉量不均衡的情況。另也可根據灌溉系統要求訂製 3 個以上施肥通道，每個施肥通道具有單獨的流量計，可以依據作物需要隨時、方便、精確調節施肥量，以達到嚴格控制灌溉液 EC/PH 的要求，減少人為原因造成的危害。此外，系統內內建了回水裝置，能將施肥機內的回水利用程序控制，搭配精準的灌溉設定，能夠節約用水、降低肥料的消耗，提高經濟效益，達到「零排放」的循環。實際運作照片如圖 10 所示。

(二) 土壤感測器之運用

土壤感測資訊包括土壤水分、電導率、土壤氮、磷、鉀含量等影響作物健康生長的土壤多項參數資訊的獲取。土壤水分，又稱土壤濕度，是保持在土壤孔隙中的水分，主要來源是降水和灌溉水，此外還有近地面水氣的凝結、地下水位上升及土壤礦物質中的水分。

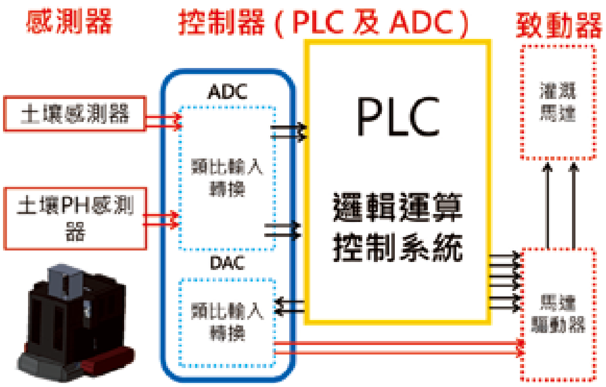


圖 8. 智慧水養液供應系統架構圖

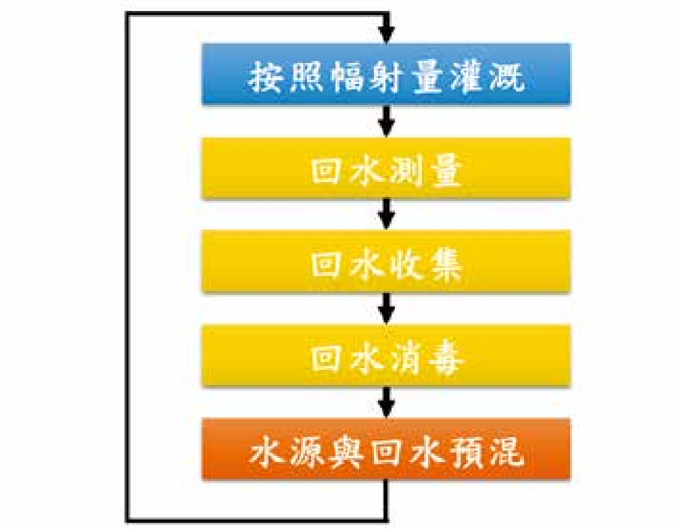


圖 9. 作物標準化水養液管理系統作動流程圖

圖 10. 自動水養液灌溉系統

土壤含水量直接影響著作物生長及土質的性能。在農業、水利、氣象研究的許多方面，土壤水分含量是一個重要參數。農業生產中，土壤含水量的準確測定對於水資源的有效管理、灌溉措施、作物生長、旱地農業節水、產量預測以及化學物質監測等方面非常重要，也是精準農業極為關鍵的重要參數。土壤水分感測技術的研究與發展直接關係到精緻農業變數灌溉技術的優劣。常用土壤水分檢測技術包括烘乾法、介電法、電阻法、電容法、射線法、中子法、張力計法等。由於便於測量，介電法是目前農業物聯網中常用的土壤水分檢測方法。土壤電導度是指一種物質傳送 (傳導) 電流的能力，土壤電導度與土壤顆粒大小和結構有很強的相關性，同時土壤電導度與土壤有機物含量、黏土層深度、水分保持能力/水分洩漏能力有密切關係。常用的土壤電導率檢測技術包括傳統理化分析方法、電磁法測量、電極電導法測量、時域反射等方法，其中電磁法測量、電極電導法測量、時域反射等方法由於能直接將電導度轉化為作物訊號，特別適於農業物聯網土壤電導度資訊感測。

土壤養分測試的主要對象是氮 (N)、磷 (P) 和鉀 (K)，這三種元素是作物生長的必需營養元素。氮是植物體中許多重要化合物 (如蛋白質、氨基酸和葉綠素等) 的重要成分，磷是植物體內許多重要化合物 (如核酸核蛋白、磷脂、植素和腺三磷等) 的成分，鉀是許多植物新陳代謝過程所需酶的活化劑。

由於作物適合種植的土質上，未來可開發適用於各種作物所需之介質感測裝置，包含土壤濕度檢測器、降雨量測器、傾斜器、LoRa 無線感測器、LoRa 無線天線器、地下水位偵測器，可協助農民們完整感測最適的介質水含量並收集長期的水分含量數據，同時藉由無線通訊與智慧環控系統之決策平台連結，讓農民可以隨時隨地取得即時的栽種環境現況。土壤感測器實際運作照片如圖 11 所示。

圖 11. 土壤感測器之運用情形

五、智慧環控系統與數據分析平台建置

溫室栽培管理形成自動紀錄，諸如整地、播種、中耕、管理、收穫，與溫室微環境數據資訊進行交相分析比對，進行數據清理及特徵工程，再利用機器學習－決策樹，盤點探討灌溉、給肥與病蟲害防治施等措施；進而歸納彙整形成工作框架 (framework)，有效強化品管、穩定產量、協助溫室內工務實施與人才培育。由於無線通訊網路技術的蓬勃發展，隨處上網的情境早已實現，即便是偏鄉山野，也始終有多種網路延伸銜接的解決方案。針對農糧領域需求及其農業生態系發展，建構一個易於使用、易於管理、更具備延展彈性 (scalability) 的智慧農業戰情管理應用平台，並尋求農業相關社團組織合作，共同示範性推廣實施，以期未來永續有效維運。

目前，國內智慧環控業者所開發之智慧農業戰情管理應用平台與應用服務架構大多如圖 12 所示。其架構採用 MVC 與 OR-Mapping (Entity Framework) 為基礎，將使用者界面、背景作業 (Batch Job) 和商業邏輯分開。這樣的做法，可以降低系統與系統之間的耦合性，簡化開發與測試的過程，並提高系統的穩定性與可維護性。系統對外界面則採用單一的通訊協定，預計使用 Web Service (RESTFul + JSON)，同時各家公司將所開發之 Gateway 程式，其負責與其統系統之不同通訊協定間轉換，將複雜的資料交換工作，集中管理，可以降低系統複雜度，亦增加程式碼的重複使用率。相較於一般的 Gateway 程式，智慧農業環控系統所開發之 Gateway 程式，除了做基本的資料交換外，同時也實作 Long Running Process、Job Chain、Data Cache 等功能。

此外，目前亦發展溫室設施智慧環控系統如圖 13 所示，陸續應用在各育苗場，建構完整的組織培育室、育苗室技術，並打造自動化系統與智慧控制解決方案，預期可達到育苗場更高效率、高品質、高產能的育苗解決方案。同時也建構大數據資料庫平台，紀錄各種作物培育與供給相關數據，預期將有助於品質與產量提升、生產履歷溯源、資訊透明化以抑制供需失衡等問題。國內已將智慧農業技術、大數據收集與分析平台以及自動化系統與智慧控制技術等，搭配環境與作物生長監測設備與降溫設備及智慧水養液設備，建構智慧溫室設施監測分析平台，如圖 14 所示。

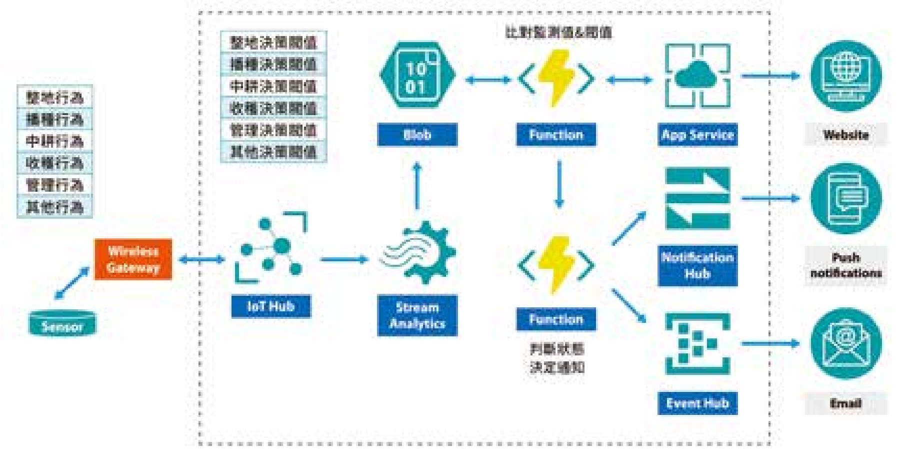


圖 12. 智慧環控系統管理運算與應用服務架構示意圖

圖 13. 溫室內智慧環控管理系統

圖 14. 智慧農業戰情管理應用平台

六、結論與未來展望

中華經濟研究院研究得知十年來台灣平均每戶農家所得總額占非農家所得總額的七成五至八成；每戶農家所得中，來自農業所得僅占兩成。由於農業所得低，影響年輕人務農意願，農村人口愈來愈老化，農業發展面臨極大危機。農業 AI 技術與大數據技術興起，智慧農業應用亦蓬勃發展。根據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 的資料以及各大研究機構的調查，目前世界各國皆面臨著資源日益減少的問題，而預計這些問題很快將在未來幾年內造成重大的糧食危機。其主要原因是由於全球人口不斷增加，加上可耕地面積卻 F 逐漸減少。在這種需求增加而可耕面積減少的情況下，提高農業生產過程的生產力將具有極大價值效益。由於上述原因，智慧農業成了重要的解決方案，將有助於將提供更快捷，更有效的農業技術。另外，智慧農業也有助於減少重度勞動的工作，從而幫助農民將其能力引向其他技術提升等領域。隨著科技發展，物聯網、人工智慧與智慧農業的整合也將在全球農業市場中發揮重要作用。

有越來越多的企業與政府紛紛投入並支持智慧農業，希望通過創新和技術改進創造更大的市場效益，透過需求掌握以擴大智慧農業的規模以及應用，建立更多的產品與服務生態系。目前世界上智慧農業使用頻率和關注度比較高的國家和地區有美國、荷蘭、日本等，另外包含韓國、台灣、新加坡、北歐等一些糧食進口為主的國家也逐漸關注相關議題。

參考文獻

1. 呂智超、鄭立華、喬軍。2018。基於 ZigBee 與 RFID 的蘋果果園資訊採集系統：系統實現與驗證[J]. 農業科學, 2018, 8(11): 1328-1335。
2. 陳孟萱、2015。應用機器學習方法於作物種植條件之研究。國立成功大學會計學系研究所碩士論文。51 頁。
3. 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎。2006。WRF 模式之敏感度測試 第二部份：定量降水預報校驗。大氣科學；第 34 卷期 3 期。
4. 簡芳菁。2011。卡玫基颱風 (2008) 於台灣地區伴隨豪雨之數值模擬研究。大氣科學；第 39 卷期 4 期。
5. 姚豔麗、傅瑋東、邢文淵、楊秋蓮。2011。基於 MODIS 資料的新疆土壤水分遙感應用研究[J]. 中國農業氣象, 2011, 32(增刊): 161-164。
6. Abdullah, M. Z., J. Mohamad-Saleh, A. S. Fathinul-Syahir, B. M. N. Mohd-Azemi. (2006). Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (Averrhoa carambola L.) using automated machine vision system. Journal of Food Engineering, 76(4), 506-523.
7. Hamrita, T. K., E. C. Hoffacker. (2005). DEVELOPMENT OF A “SMART” WIRELESS SOIL MONITORING SENSOR PROTOTYPE USING RFID TECHNOLOGY. American Society of Agricultural Engineers ISSN 0883−8542
8. Ampatzidis, Y. G., S. G. Vougioukas. (2009). Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting. Computers and Electronics in Agriculture 66(2):166–172
9. Bowman K. D. (2010). Longevity of Radiofrequency Identification Device Microchips in

Citrus Trees. HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science 45(3)

10. González Sánchez, A., J. Frausto Solís, W. Ojeda Bustamante. (2014). Predictive ability of machine learning methods for massive crop yield prediction. Spanish Journal of Agricultural Research, Vol 12, No 2
11. Prabhakar, M., Y. G. Prasad, M. N. Rao (2011). Remote Sensing of Biotic Stress in Crop Plants and Its Applications for Pest Management. Page 517-545 in: Venkateswarlu B., Shanker A., Shanker C., Maheswari M. (eds) Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies. Springer, Dordrecht.
12. Gorbe, E., A. Calatayud. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review. Scientia Horticulturae, 138, 24-35.

Cultivation Practices and Applications of Smart Greenhouse Technology

Fu-Liang Hong

Huang Lin Machinery Co., Ltd., Taichung, Taiwan.

ABSTRACT

The agricultural sector has now incorporated the Modular Control System (MCS), Internet of Things (IoT), and Smart Management Information Systems (SMIS) into greenhouses and screen-houses, streamlining upgrades and reducing labor needs. These advancements allow for precise control of optimal crop cultivation conditions, enabling the creation of microclimates that boost high-yield crop growth and facilitate the monitoring of crop physiological signals. Such innovations not only support substantial profit returns and minimize cultivation risks but also establish advanced microclimate control technologies for intelligent greenhouse and screen-house systems. Aligning with global market trends, the integration of environmental control technologies under Agriculture 4.0 enables farmers to produce "high-quality" and "safe" agricultural products suitable for both domestic and international markets. This progress fosters the development of a standardized, highly efficient smart agriculture facilities industry.

Keywords: big data, smart agriculture, planting management, agriculture meteorology.

溫室作物栽培智慧灌溉技術之應用與發展

賴信忠、楊雅淨、李淑真
農業部桃園區農業改良場農業推廣科、樹林分場、作物改良科

摘要

全球農業普遍面臨缺工、水資源不足及氣候變遷等困境，智慧科技可提供農業安全穩定之生產模式。水分管理為作物生產最基礎且關鍵之栽培管理，智慧灌溉藉由環境感測及程式遠端控制灌溉，具備精準、省工、節水且穩定之優點。本文應用本場自行開發物聯網監控資訊系統及監控設備，結合灌溉管路及底部端盤，開發設施蔬菜、長壽花及蝴蝶蘭智慧灌溉技術。於桃城蒔菜農業生產合作社驗證人機協同灌溉技術，以程式積木編輯生育期光積值自動灌溉，透過 LineBOT 人機互動，逐步建立光積值灌溉閥值，驗證青梗白菜、莧菜及蕹菜等作物，5 期作共計灌溉 32 次，累計灌溉量 98,659 L，相較於定時器可節省 94.1% 灌水量，節省灌溉人力 90% 以上。於桃園市大同花卉農園比較長壽花智慧底部灌溉、智慧滴灌及手動滴灌處理之總用水量分別為 988、1,608、10,123 L，顯示智慧灌溉模式均較手動滴灌省水，可節水 84.1-90.2%；智慧灌溉模式中又以底部灌溉模式最為省水，相較於智慧滴灌可節水 38.5%。應用土壤濕度計監測蝴蝶蘭栽培介質含水率，探討 3.5 寸盆蝴蝶蘭底部智慧灌溉水量對其植株生長的影響。試驗材料為市售蝴蝶蘭 3.5 寸盆植株，4 個品種分別為 *Phal.* Sogo Yukidian 'V3'、*Phal.* Charming Oriental Beauty 'Lee1150'、*Phal.* Fuller's Pink Swallow 'Lee1159' 及 *Phal.* Fuller's Sunset 'JB2035'。3 種底部灌溉水量處理分別為每盆 175、200 及 225 mL，春季植株生長栽培 5 個月，結果顯示 3.5 寸盆蝴蝶蘭品種及灌溉水量均有顯著或極顯著差異，但品種間及灌溉水量沒有交感效應。3.5 寸盆每盆 225 mL 的灌溉水量會降低 *Phal.* Sogo Yukidian 的育成率。底部灌溉水量處理以灌溉水量最少的育成率較佳，傳統人工澆水的灌溉次數較少，但總灌水量較高。此次自動底部灌溉較傳統頂部澆水灌溉方式可節省 55% 的灌溉水。

關鍵詞：設施蔬菜、長壽花、蝴蝶蘭、智慧灌溉、物聯網

一、前言

台灣農業環境面臨人口老化，勞力短缺，農業技術傳承無人，藉由智慧科技導入農業生產，監測環境，將農業經驗程式化，數位科技取代人力，藉由環境感測及精準預測，減少作業及資材過度投入，可提升農業生產效能，並減少對環境衝擊。作物栽培受到複雜的外在環境因子影響，包括氣象因子：光照度、溫度、空氣溼度、風速、降雨及管理因子：土壤水分含量、土壤營養元素含量等，可能單一或交互作用影響農作物各個生育階段之生長分化。而每種作物之產量構成要素及決定產量之重要環境因子均不同，需要專家以學理及經驗為基礎決定變數，透過即時監測系統及產量構成要素之調查分析，藉以微調環控及栽培管理技術，使農產品能達提升產量、調節產期及增進品質之效。

農業設施主要目的在於保護農作物，避免受到天候及病蟲危害，營造良好栽培環境，提高作物產量及品質。惟設施造價高，因此選擇具高經濟性作物，設施越精密建造成本越高，相對作物經濟性就要越高，才能獲取合理利潤。溫室配備環境管理設備，藉由無線傳輸監控設施導入，自動感測自動控制環控設備，田間作物栽培管理自動化，降低人力成本及穩定品質，惟不同作物所需管理條件不同，且作物生育從苗期、營養生長期、開花及結果期，不同時期生育條件不同，需要適時調整管理條件。因應極端氣候、水資源及缺工議題，發展設施農業及各種農業機械設備，穩定生產，促使我國農業技術持續發展，確保農業競爭力。

設施蔬菜為北部重要作物，北部地區約占 473 公頃，以全年生產 8-10 期作，生產面積約 3,730 公頃，其中桃園市約占 79%，新竹縣占 11%，以短期葉菜為主，具有穩定夏季蔬菜產銷功能。設施葉菜栽培過程包括整地、施基肥、播種 (移植)、田間管理 (灌溉、噴藥)、採收及採後處理等。以移植栽培所需管理人力，田間管理約占 17%，其中 95% 是灌溉管理。而灌溉管理攸關產品及品質，亟需富經驗管理人力，通常都需要農場主自行管理，需耗費大量管理人力，影響到其他工作安排及經營規模，智慧灌溉技術的應用，藉由無線通訊環境感測器、控制器及資通訊系統，進行自動排程灌溉管理。

長壽花為國內外重要盆花，全球年產量約 2 億盆，產值約 70 億元新台幣，國內年產量約 150 萬盆，主要供應春節，但近年來因缺工及水資源受到氣候異常而影響盆花生產。本場開發小品盆花專用底部灌溉栽培端盤，可供生產者運用於多種盆花種類，搭配監控設備及操作系統，藉由智慧灌溉技術減少灌溉人力，實施底部灌溉模式，更具減少葉片澆水引起病害，以及肥料與農藥流失等綜效。

蝴蝶蘭為我國主要內外銷花卉，每年外銷 9 千萬餘株種苗，行銷世界 60 餘個國家，產值新台幣 40 億元以上，但受人口老化及缺工影響栽培生產。張等 (2012) 指出蝴蝶蘭澆水要學要 3 年才能出師，澆水時必須充分澆濕，且每一盆皆能夠澆水均勻，等到水草摸起來似抹布要乾未乾之際，軟盆內部凝結的水滴已極少，才開始另一個澆水循環。蝴蝶蘭 *Phal.* Sogo Yukidian 'V3'合理的介質含水率在種苗期以 18-20% 為肥灌時機，對於根系生長與地上部發育較為有利 (蘇，2009)。但由於近年來人口老化及生育力低，逐漸導入自動化的栽培管理，蝴蝶蘭澆水機全自動化改良，以市售自走式澆水機為載具，改裝出水元件及運作方式 (智，2018)，但對水資源不友善，浪費水及肥料，且提高溫室內的相對濕度。以現行的蝴蝶蘭自走式灌溉及肥培設備，或採用以栽培床的底部灌溉方式，具有病害擴散的風險。隨著科技的發展，為減少灌溉用水量、肥料量及人工，並降低病害擴散的風險；導入物聯網設備及技術應用於蝴蝶蘭的自動底部灌溉，開發並建立底部自動灌溉及肥培管理技術，以達到自動化灌溉，並降低人力的目的。

二、材料與方法

3.1 智慧環控系統及監控設備：

採用本場自行開發農業生產管理即時監控資訊系統及無線傳輸之環境感測器及控制器 (圖 1)。農業生產管理即時監控資訊系統為雲端資訊系統，可紀錄環境感測及控制數據、響應式網頁操作介面、程式積木、LINE 訊息通知、Google 試算表、串接 R 語言

及中央氣象局氣象站、影像辨識等功能，採用帳號管理。監控設備採用 Wi-Fi 傳輸，環境感測器 (圖 2) 可偵測光度 (μmol/m²/s)、空氣溫度 (℃)、空氣相對濕度 (%)、土壤濕度 (%)。3 路土壤濕度計，搭配 3 組土壤濕度計 (%)。灌溉控制器 (圖 3) 透過繼電器可控制 1 組設備開關，可外接 1 組流量計，偵測水流量。8 路控制器 (圖 4)，可獨立控制 8 組設備開關。本試驗採用程式積木進行自動控制程式編程，依據感測數據進行自動灌溉管理，灌溉結果以 LINE 通知到手機並記錄至 Google 試算表。

圖 1. 農業生產管理即時監控資訊系統運作架構圖

圖 2. 環境傳感器

圖 3. 灌溉控制器

圖 4. 8 路控制器

3.2 設施蔬菜智慧灌溉：

3.2.1 於桃園市八德區桃城蒔菜農業生產合作社 B02 及 B39 溫室進行設施蔬菜智慧灌溉試驗，於溫室內外安裝環境感測器，監測空氣溫度、相對溼度、光度及下雨等，每 5 分鐘 1 筆數據，上傳雲端主機儲存及計算累積光度值。

3.2.2 測試作物種類包括小白菜、青梗白菜、莧菜、蕹菜。採用直播，以程式積木編輯灌溉程式，從播種後計算生育日數，分成萌芽期、初期、中期 1 及中期 2 等灌溉時期，採用光積值模式，依作物種類設定各生育期之灌溉閥值及灌溉時間 (表 1)，以戶外傳感器光度計計算累積光度，達到該時期閥值時以 LineNotify 發布通知灌溉，管理員做最後決策是否灌溉，灌溉後光積值歸零重新計算，遇到陰天光度值低於 500 μmol/m^2/s，停止累加光度，偵測到下雨，光積值歸零。灌溉後記錄至 Google 試算表。(圖 5)

3.3 長壽花智慧灌溉：

3.3.1 本試驗採用本場開發之小品盆花專用底部灌溉系統，以及大同花卉農園開發之小品盆花點滴灌溉系統，搭配 3 路土壤感測器，依照介質濕度閥值自動灌溉。於八德區大同花卉農園示範場域針對長壽花小品盆花，進行上述滴灌系統及底部灌溉系統之智慧灌溉模式驗證。試驗灌溉處理為土壤水分監控底部灌溉 (智慧底灌)(圖 6)、土壤水分監控滴灌 (智慧滴灌)(圖 7)、手動滴灌等 3 種，每種處理設置 2 支土壤溼度計，分別設置於試區前後段盆栽內。智慧底灌 (圖 8)、智慧滴灌均以土壤溼度閾值 20% 執行自動灌溉，手動滴灌則仰賴現場管理人員自行判斷人工控制給水頻度與時間。

3.3.2 智慧灌溉模式 (圖 9) 設定為每日 8-16 時智慧監控灌溉時間，處理小區內任一支土壤溼度計測值低於土壤溼度閥值即啟動灌溉 1 次。如達 5 日未啟動灌溉，則強制啟動灌溉 1 次。智慧底灌每次灌溉時間為 120 秒，採間歇灌溉，灌溉 60 秒後，間隔 10 分鐘，再灌溉 60 秒 (圖 10、圖 11) ；智慧滴灌每次灌溉 200 秒，採間歇灌溉，間隔 10 分鐘，每次灌溉均以 LINE 通知。試驗於營養生長期與生殖生長期調查株高、展幅、最大葉長、最大葉寬、分支數/花序數及栽培介質電導度等。

表 1. 設施蔬菜生育期智慧灌溉條件

作物	生育期	天數	累積光度閥值 (μmol/m²/s)	灌溉時間(min)
蕹菜	初次灌溉	0		9
	播種期	1-3	600,000	6
	初期	4-8	1,000,000	6
	中期 1	9-11	1,400,000	6
莧菜	初次灌溉	0		9
	播種期	1-3	780,000	6
	初期	4-5	1,500,000	6
	中期 1	6-12	2,100,000	6
	中期 2	13-20	2,700,000	6
青梗白菜	初次灌溉	0		9
	播種期	1-6	780,000	6
	初期	7-12	1,300,000	6
	中期 1	13-18	1,820,000	6
	中期 2	19-25	3,420,000	6
小白菜	初次灌溉	0		9
小松菜	播種期	1-5	780,000	6
菠菜	初期	6-9	1,300,000	6
	中期 1	11-20	1,820,000	6

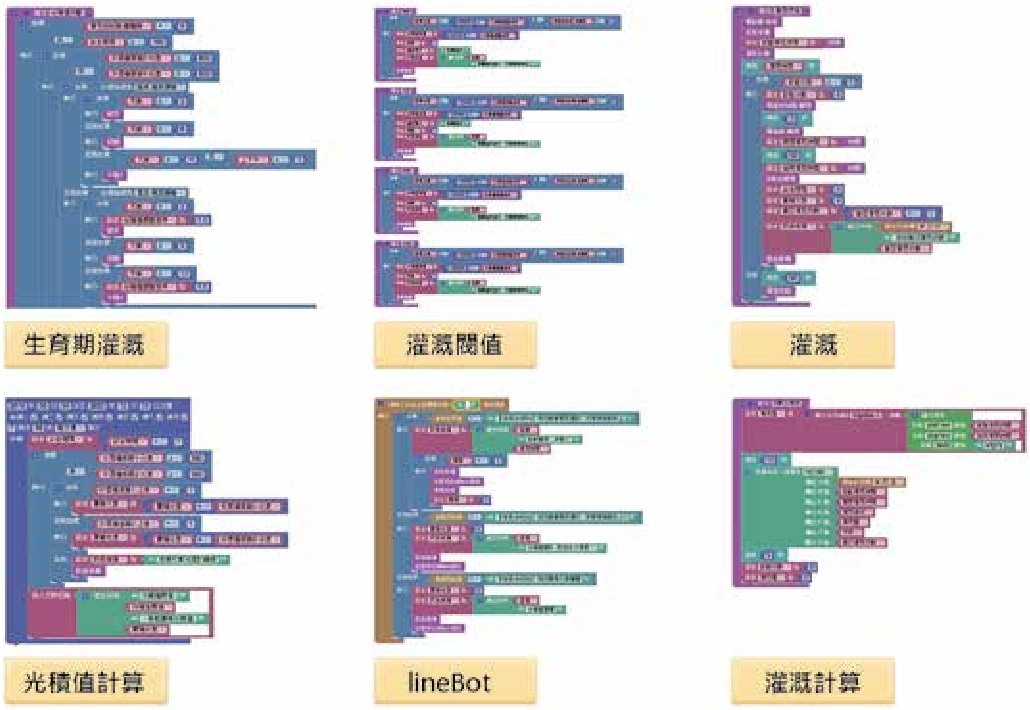


圖 5. 桃城蒔菜生產合作社人機共同灌溉決策－光積值灌溉+LineBot

圖 6. 以土壤濕度計偵測介質含水量，灌溉控制器自動給水

圖 7. 管路滴灌灌溉

圖 8. 底部灌溉端盤結合智慧灌溉

3.4 蝴蝶蘭智慧灌溉：

3.4.1 溫室設施內架設 1 噸的灌溉水桶、500 公升養液 (肥料) 桶及馬達，串接灌溉管路及穩壓滴頭至栽培床上，灌溉管路裝設有電磁閥及流量計，栽培床上設置 3 路土壤感測器和灌溉控制器。以程式積木編寫灌溉程式，應用土壤感測器自動偵測蝴蝶蘭介質含水量，當土壤感測器偵測蝴蝶蘭介質含水量低於閥值，自動啟動灌溉，依據設定的灌溉時間達到時，則停止灌溉。

3.4.2 試驗材料為市售 *Phal.* Sogo Yukidian‘V3’、*Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’ 等 3.5 寸盆 4 種商用品種的蝴蝶蘭植株。

3.4.3 試驗方法：3.5 寸蝴蝶蘭植株 8 盆放入 12 孔端盤，再將其放置於有白色吸水布的正方形底部盤上，由 3 路土壤感測器偵測蝴蝶蘭介質含水量。3 種灌溉量處理各有 1 支土壤感測器監測介質含水量，設定介質含水量閥值為 30%，自動底部灌溉養液。處理為每個端盤給與 1,400、1,600 及 1,800 mL 水或肥水 (肥料種類：必達肥料 N-P_2O_5-K_2O=20-20-20，肥料濃度：1.0 g L^{-1})，換算每盆為 175、200 及 225 mL；對照組為傳統人工澆灌處理 (每盆約 300 mL 水)。複因子設計，4 種品種，4 種灌溉方式，每處理 3 重複，每重複 8 盆。處理栽培時期為 4 月至 10 月。調查項目為試驗前及後之葉片數、株幅、葉長、葉寬、葉面積、根數及鮮乾重等性狀，栽培期的溫度、相對溼度及光度等環境資料蒐集。

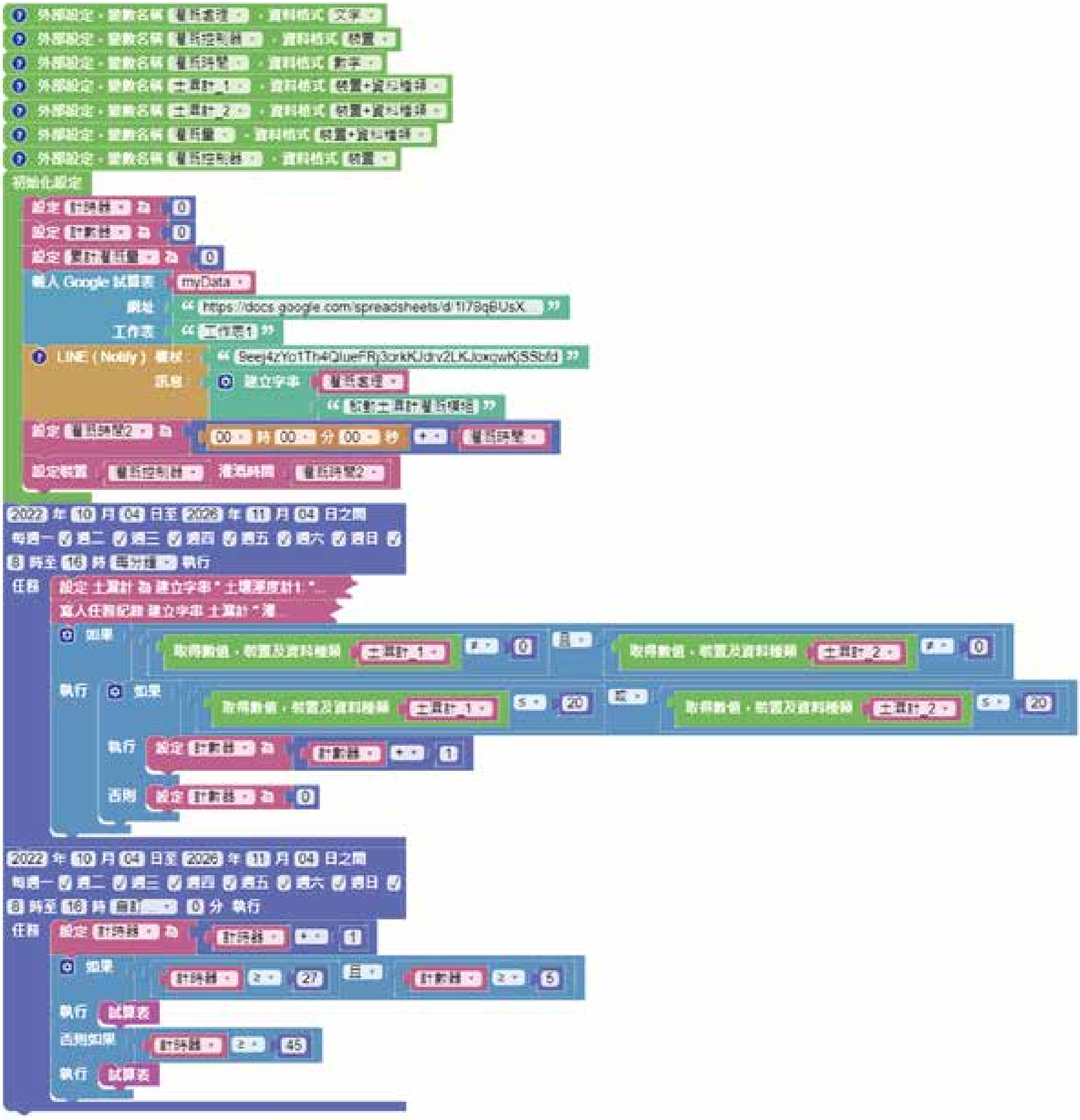


圖 9. 長壽花示範驗證智慧灌溉監控程式積木模型

圖 10. 智慧底灌處理之表單變數設定

圖 11. 智慧滴灌搭配程式進行表單化之變數設定

三、結果與討論

4.1 設施蔬菜人機協同智慧灌溉

於桃園市八德區桃城蒔菜農業生產合作社建立智慧灌溉示範場域，導入監控系統及透過程式積木進行智慧灌溉。灌溉模式採用光積值灌溉結合 LineBot 指令互動，進行人機協調灌溉模式。

已完成小白菜、青梗白菜、小松菜、菠菜、莧菜之光積值灌溉閥值設定，以生育日數分為播種期、初期、中期及中期 2 等時期自動灌溉，自動切換灌溉條件。每日 7 點至 19 點以超過 500 μmol/m^2/s 光強度，每分鐘執行累加，早上 9 點到下午 2 點進行累積光度閥值判斷，並設定 2 次灌溉至少間距 3 小時。達到閥值通知到 LINE 群組，管理人員回覆同意灌溉採啟動灌溉，並將光積值歸零，重新計算。完成灌溉後將灌溉量紀錄至 Google 試算表。

於 2 棟溫室進行實機驗證 (表 2)，依照天候自動調整灌溉頻率，驗證青梗白菜、莧菜及蕹菜等 5 期作共計灌溉 32 次，累計灌溉量 98,659 L，相較於定時器 (每日灌 6 分鐘) 可節省 94.1% 灌水量，蔬菜生育狀態良好。

4.2 長壽花智慧灌溉

111 年 7-8 月於示範場域佈建灌溉管路，裝設環境傳感器、3 路土壤溼度計及單路灌溉控制器等設備。長壽花 7 個參試品種/系，由前至後排列，依序為‘喜神’、‘福斯特’、‘黃襯衫’、‘南非魔法’、農場自有品系 TP01、5860 及 152。9 月 10 日完成材料定植，配合示範場域管理習慣，調校灌溉程式，建立長壽花智慧灌溉模式。

表 2. LineBot 人機協同智慧灌溉驗證

作物	種植日期	採收日期	灌溉次數	灌溉時間	灌溉量
青梗白菜	8/11	9/15	11	75	32,343
莧菜	9/20	10/12	5	39	18,361
蕹菜	4/29	5/14	8	54	24,062
蕹菜	7/21	8/7	5	39	13,593
蕹菜	10/16	11/10	3	24	10,300
合計			32	231	98,659

智慧底灌、智慧滴灌與手動滴灌處理試區管理盆數依序為 1,104、1,104 及 1,044 盆。示範場域植床長度 16 m，寬 1.8 m，為獲得穩定之灌溉量，於智慧滴灌與手動滴灌灌溉管路系統設計簡易水阻，管路前/中/後段出水口之流量分別為 30/24/28 及 36/38/22 mL min^{-1} (表 3)。而智慧底灌處理本次示範場域未採用水阻設計，僅以 2 mm PE 細管進行底灌栽培盤串接，經過測試發現管路前/中/後段出水口之流量差異較大，經過檢討未來可加裝 PVC 管，搭配 2 mm PE 細管設計簡易水阻，可達到前中後段較為一致之出水控制。本次示範驗證期間為 9 月 10 日至 11 月 21 日，智慧底灌、智慧滴灌及手動滴灌處理之總用水量分別為 988.77、1,607.82、1,0123.47 L (表 4)，顯示智慧灌溉模式均較手動滴灌省水，可節水 84.1-90.2%；智慧灌溉模式中又以底灌模式較為省水，相較於智慧滴灌可節水 38.5%。

表 3. 主管前中後段連接之支管流量 (mL min^{-1}) 及灌溉量

位置	智慧底灌	智慧滴灌	手動滴灌
主管前段	68	30	36
主管中段	28	24	38
主管後段	34	28	22
灌溉時長	120 sec.	200 sec.	-
灌溉量/2 盆	56-136 mL	80-100 mL	-

表 4. 智慧灌溉模式之灌溉總量 (L)

灌溉模式	智慧底灌	智慧滴灌	手動滴灌
灌溉總量	988.77	1607.82	10123.47

備註：灌溉量計算期間為 10 月 25 日至 11 月 21 日。

參試植株生育情形，11 月 9 日調查 7 個長壽花品種生育性狀平均值 (表 5) 顯示，智慧底灌、智慧滴灌及手動滴灌處理，株高依序為 9.6、9.6、9.8 cm，展幅為 13.3、13.1、13.1 cm，最大葉長為 7.7、8.1、7.4 cm，最大葉寬為 4.3、4.0、4.2 cm，栽培介質 EC 值 0.22、0.10、0.03 mS cm^{-1}。灌溉處理效應於株高、展幅、最大葉寬性狀未達顯著水準，僅品系 152 之株高顯著較其他品種/系高，‘福斯特’與品系 TP01 之最大葉寬顯著較寬。最大葉長方面具有灌溉處理顯著效應，智慧滴灌為 8.06 cm 最大，智慧底灌次之，手動滴灌最小。分支數則以智慧底灌處理 7.29 支最多，智慧滴灌 7.18 支次之，手動滴灌 6.36 支最少，達顯著差異。而 11 月 9 日與 11 月 17 日量測之栽培介質電導度均顯著以智慧底灌處理最高，兩次量測分別為 0.215、0.213 mS cm^{-1}，智慧滴灌處理 (0.101 與 0.023 mS cm^{-1}) 次之，灌溉淋洗最多的手動滴灌 (0.029 與 0.022 mS cm^{-1}) 最低，且達顯著差異。調查前的施肥紀錄為 10 月 22 日、11 月 12 日自灌溉管路依據灌溉模式施給水溶性複合肥料 ($N-P_2O_5-K_2O$=20-20-20)，稀釋 750 倍，施用量為 1 次灌溉量。根據上述栽培介質電導度值結果可推測，底灌模式對於營養元素之保留應較為有效率，實際施用頻度與總量均能較慣行法更為節省。

表 5. 7 個長壽花參試品種/系之生育狀況

品種	灌溉模式	株高	展幅	最大葉長	最大葉寬	分支數	EC(11/9)	EC(11/17)
		----------------cm----------------				No.	mS cm^{-1}	
喜神	智慧底灌	9.2	12.4	6.7	4.1	5.0	0.013	0.163
	智慧滴灌	10.3	13.2	8.0	4.0	6.0	0.105	0.020
	手動滴灌	10.6	13.4	7.6	3.8	6.0	0.018	0.000
福斯特	智慧底灌	10.6	12.4	7.5	5.1	5.0	0.043	0.163
	智慧滴灌	9.5	11.8	8.4	5.4	5.3	0.088	0.043
	手動滴灌	10.8	12.3	8.5	5.5	5.0	0.000	0.030
黃襯衫	智慧底灌	8.3	13.9	8.5	3.8	7.5	0.050	0.125
	智慧滴灌	7.6	14.6	8.0	3.5	8.5	0.168	0.028
	手動滴灌	7.8	13.2	6.9	3.6	6.0	0.000	0.005
南非魔法	智慧底灌	11.1	11.3	7.8	3.4	9.3	0.158	0.225
	智慧滴灌	9.8	11.5	8.0	3.0	8.8	0.120	0.020
	手動滴灌	10.1	10.8	7.1	3.7	7.5	0.000	0.043
TP01	智慧底灌	8.5	11.8	6.3	4.6	5.5	0.420	0.158
	智慧滴灌	9.2	13.0	8.8	4.9	5.8	0.095	0.013
	手動滴灌	8.9	14.5	7.4	4.8	5.0	0.155	0.010
5860	智慧底灌	7.8	14.1	6.4	4.1	9.5	0.405	0.338
	智慧滴灌	8.5	13.7	6.5	3.4	7.8	0.050	0.018
	手動滴灌	8.3	13.2	5.9	3.0	8.3	0.028	0.000
152	智慧底灌	11.9	17.6	10.7	5.1	8.3	0.428	0.325
	智慧滴灌	12.1	14.4	8.8	4.1	8.3	0.085	0.018
	手動滴灌	12.0	14.0	8.5	4.9	6.8	0.000	0.065

註：生育性狀調查日期為 11 月 9 日

4.3 蝴蝶蘭底部智慧灌溉

蝴蝶蘭種苗購入時，因品種不同，換盆時間不同，介質含水量亦不同，因此先採用人工澆水，控制介質含水量大約一致，才開始啟動物聯網自動灌溉。初期有發現不同品種有 1-2 盆發生軟腐病，立即移除，後期就沒有再發生。如圖 12 及表 6 顯示，自動底部灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 寸盆春季植株生長栽培 5 個月，4 個品種的株幅均大於 30 cm，除 *Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’ 品種的葉片數較少外 (5-6 片)，*Phal.* Sogo Yukidian‘V3’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’ 等品種的葉片數均達 5-8 片。參試的 4 個品種除大白花 *Phal.* Sogo Yukidian‘V3’ 的每盆 225 mL 底部灌溉量育成率為 75% 外，其他處理均為 92-100%。表示每盆 200 mL 底部灌溉量對大白花 *Phal.* Sogo Yukidian‘V3’ 生長較差，但對 *Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’ 等品種對底部灌溉量較不敏感。此結果與蝴蝶蘭 *Phal.* Sogo Yukidian ‘V3’合理的介質含水率在種苗期以 18-20% 為肥灌時機，對於根系生長與地上部發育較為有利 (蘇，2009)，顯示 *Phal.* Sogo Yukidian ‘V3’ 對介質含水率較敏感相符。圖 13 顯示，栽培 5 個月 3 種灌溉水量處理水草介質含水量的變化，每盆灌溉水量為 175 mL，水草介質含水量在 30-60% 之間；每盆灌溉水量為 200 mL 及 225 mL，水草介質含水量在 30-70% 之間；對照組的水草介質含水量在 30-80% 之間。表 7 顯示，每盆灌溉水量為 175、200、225 mL 及對照組傳統澆灌方式，栽培期間分別灌溉 13、12、11 及 11 次，總灌溉水量分別為 18,200、19,200、19,800 及 33,000 mL，顯示最少灌溉水量與對照組處理相較下，可節省 55% 的灌溉水。試驗統計變方分析表如表 8，在增加葉幅、增加葉數、增加葉面積、總根數、地上部鮮重、地下部鮮重、地上部乾重及地下部乾重等性狀在品種間及灌溉水量均有顯著或極顯著差異。

圖 12. 蝴蝶蘭 3.5 寸盆物聯網智慧底部灌溉栽培 5 個月後植株生長情形

表 6. 智慧灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 寸盆春季植株生長栽培 5 個月種苗育成結果

品種	灌溉水量/盆 mL	葉幅 cm	葉數 no.	育成率 %
Phal. Charming Oriental Beauty 'Lee1150'	175	46.9	5.0	100
	200	45.4	5.2	100
	225	45.7	5.1	91.7
	人工澆水	49.6	5.8	100
Phal. Fuller's Pink Swallow 'Lee1159'	175	39.6	7.3	100
	200	40.3	7.6	100
	225	41.0	7.1	100
	人工澆水	40.1	8.1	100
Phal. Fuller's Sunset 'JB2035'	175	37.4	6.6	100
	200	38.3	6.8	100
	225	39.6	8.2	100
	人工澆水	41.9	8.3	100
Phal. Sogo Yukidian'V3'	175	38.9	6.8	100
	200	33.8	6.5	100
	225	37.8	5.5	75
	人工澆水	40.8	6.5	100

育成率：植株具 5 片葉以上

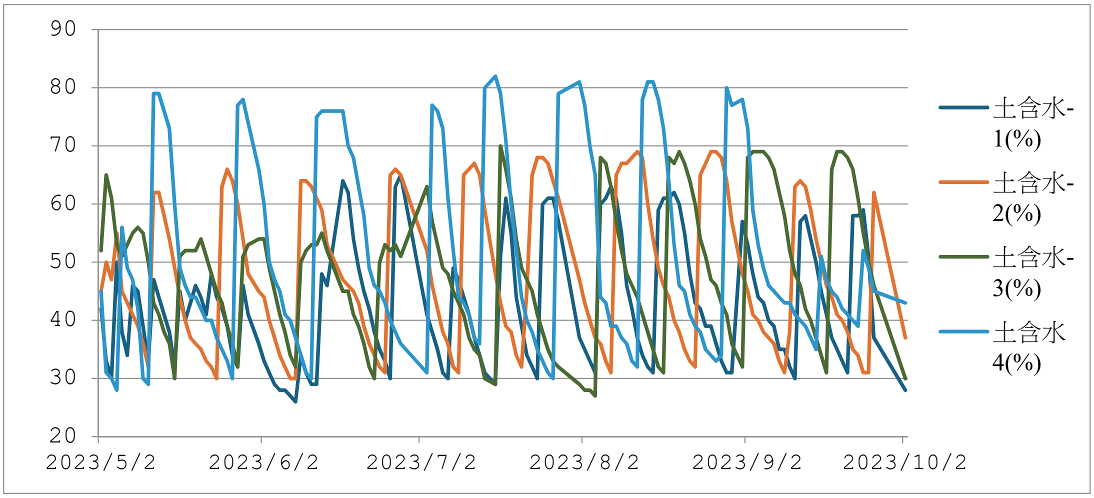


圖 13. 蝴蝶蘭 3.5 寸盆物聯網智慧底部灌溉栽培 5 個月介質含水量的變化

土含水-1: 175 mL 灌溉水量/盆，土含水-2: 200 mL 灌溉水量/盆

土含水-3: 225 mL 灌溉水量/盆，土含水-4: 傳統澆灌，對照組

表 7. 智慧灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 及 2.5 寸盆春季栽培 5-6 個月的總灌溉量

盆徑 寸	灌溉量 ml/盆	灌溉次數 次	總灌溉量 mL	栽培時間 月份
3.5	175	13	18,200	4-9
3.5	200	12	19,200	4-9
3.5	225	11	19,800	4-9
3.5	300 (對照組)	11	33,000	4-9

表 8. 智慧灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 寸盆春季植株生長栽培 5 個月變方分析表 (4-9 月)

	變因	自由度	平方和	均方	F 值	Pr>F
增加葉幅	品種	3	654.598	218.199	41.94	<.0001
	灌溉水量	3	32.283	10.761	2.07	0.1240
	品種*灌溉水量	9	71.888	7.988	1.54	0.1780
增加葉數	品種	3	20.844	6.948	17.67	<.0001
	灌溉水量	3	4.750	1.583	4.03	0.0154
	品種*灌溉水量	9	4.177	0.464	1.18	0.3404
增加葉面積	品種	3	56547.125	18849.042	7.67	0.0005
	灌溉水量	3	29209.143	13069.714	5.32	0.0043
	品種*灌溉水量	9	42834.966	4758.330	1.94	0.0819
總根數	品種	3	3475.281	1158.427	48.88	<.0001
	灌溉水量	3	327.885	109.295	4.61	0.0086
	品種*灌溉水量	9	245.854	23.317	1.15	0.3570
根枯數	品種	3	77.464	25.821	6.98	0.0010
	灌溉水量	3	54.026	18.009	4.86	0.0067
	品種*灌溉水量	9	15.755	1.751	0.47	0.8819
地上部鮮重	品種	3	16108.344	5369.448	56.53	<.0001
	灌溉水量	3	2022.853	674.284	7.10	0.0009
	品種*灌溉水量	9	2816.219	312.913	3.29	0.0060
地下部鮮重	品種	3	4011.599	1337.200	17.67	<.0001
	灌溉水量	3	1322.280	440.760	5.82	0.0027
	品種*灌溉水量	9	941.483	104.609	1.38	0.2370
地上部乾重	品種	3	32.567	17.522	45.85	<.0001
	灌溉水量	3	2.314	0.771	2.02	0.1311
	品種*灌溉水量	9	8.508	0.945	2.47	0.0287
地下部乾重	品種	3	34.721	11.574	19.09	<.0001
	灌溉水量	3	8.507	2.836	4.68	0.0081
	品種*灌溉水量	9	3.805	0.423	0.70	0.7063

土壤濕度計可穩定偵測蝴蝶蘭栽培介質含水率，達到底部自動灌溉，減少灌溉的人力，同時可以監測及記錄蝴蝶蘭水草含水量變化，提供栽培及研究參考。蝴蝶蘭自動底部灌溉在品種及灌溉水量均有顯著或極顯著差異，但品種間及灌溉水量沒有交感效應。3.5 寸盆每盆 225 mL 的灌溉水量會降低 *Pha*l. Sogo Yukidian 的育成率。此次試驗顯示，應用自動底部灌溉較傳統頂部澆水灌溉方式可節省 58% 的灌溉水，對於灌溉水量處理及蝴蝶蘭水草含水量的灌溉閥值可嘗試再調整降低，對於蝴蝶蘭植株生長、水資源及肥料的管理更友善。

四、結論

溫室可抵擋雨水侵襲，相對的設施內作物只能仰賴灌溉系統給水，灌溉良莠直接影響作物產量及品質，尤其是淺根性葉菜及盆花，通常由極富經驗管理人員或農場主人負責灌溉，受限管理人力影響經營規模，也影響農業經驗傳承；智慧科技導入，透過監控設備及雲端系統進行自動灌溉，以數據驅動精準管理，管理經驗程式化，可擴大經營規模，讓全年無休農耕也可以放假，進而吸引年輕人返鄉從農。

農業部自 106 年起推動智慧農業科技研發已有豐碩成果，經過廠商技轉承接商品化，惟智農成果產業應用仍處於初期，市場有限且智農系統售價偏高，需要仰賴政府補助。因此智農二期重點在於技術落地普及，以智農生態系整合智農廠商產品及服務，透過示範場域驗證系統效能，並透過教育訓練培訓農民操作應用技能，培養在地青農之農事資訊服務職能，就近提供安裝服務，推廣智農普及。設施作物智慧灌溉示範場域可分享使用經驗，讓農民眼見為實，瞭解智農系統，進而願意採用。不同作物灌溉需求及灌溉管路設計不同，需要不同灌溉技術，考量作物、溫室環境、灌溉管路及灌溉習慣不同，需客製化灌溉程式，滿足場域需求，程式積木提供高度靈活操作模式。作物智慧灌溉普及需要廠商提供平價智農系統，政府補助資源減少農民負擔，智農廠商合作降低開發成本，透過教育訓練及示範場域口碑，讓農民願意採用，逐步習慣智慧栽培，進而打開智農市場。

本文介紹設施葉菜、盆花及蝴蝶蘭智慧灌溉，這 3 種作物單位產值差異大，以設施葉菜單位產值最低，如能導入智慧灌溉，代表具備低成本擴散優勢，不同作物都能做到精準灌溉，穩定產量及品質，顯示智農科技具有廣泛適用性。智慧科技導入農業產銷可提升農業競爭力，以公私協力推動農業進步，智農科技普及應用，推動農產業升級加值。

參考文獻

1. 朱堉君。2021。夏季高溫來臨怎麼辦？紅龍果因應高溫的生產策略。豐年雜誌。71:102-105。
2. 吳永昌。2021。從後物聯網邁向人工智慧物聯網的台灣未來智慧城市發展概況。管理與資訊學報。國立空中大學管理與資訊學系。26 期。P1-26。
3. 科技發展觀測平台。2020。智慧化種植管理系統市場動態和主要應用作物與類型。https://outlook.stpi.narl.org.tw/index/focustheme/

detail?id=4b1141007596aa5a0175978e7a1c0155。

4. 楊玉婷、劉依蓁。2021。2020 台灣智慧農業論壇報導－2020 台灣智慧農業論壇報導。臺灣經濟研究月刊：44 卷 2 期 (2021/02/01)，P59-65。
5. 農業統計年報。2022。<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
6. 蔡致榮、陳柏中、葉有順。2022。農業智慧省工。中臺灣農業科技前瞻論壇專刊。台中區農業改良場。P91-122。
7. 曾凱盟。2024。智農業鑾竞監測箱實作與研究。國立臺灣海洋大學資訊工程學系碩士學位論文。P3。
8. 傅仰人。2024。北部盆花產業近 30 年演變及展望。113 年盆花產業發展趨勢研討會。桃園區農業改良場。P1-14。
9. 智慧農業。2018。蝴蝶蘭澆水機全自動化改良。
10. 楊雅淨、賴信忠。2024。盆花設施環境監控及智慧栽培管理技術。桃園區農業改良場。P101-116。
11. 葉德銘。2014。底部灌溉系統對六種觀葉植物生長之影響。台灣園藝 44(1)：81-92。
12. 農傳媒。2017。傳統農業升級！蝴蝶蘭自動化栽培提升 40% 灌溉效率、每年營收增 500 萬以上。
13. 羅士凱、陳錦木、鄭隨和。2010。小品盆花自動給水盤之研發。桃園區農業改良場研究彙報 67：45-52。
14. 蘇挺檳。2009。介質含水率、肥料濃度與栽培期對蝴蝶蘭兩階段接力栽培生長與開花之影響。國立嘉義大學農學院園藝學系碩士論文。p200。
15. Barrett, J.E. 1991. Water and fertilizer movement in greenhouse subirrigation system. Greenhouse Mgr. 10: 89-90.
16. Bryant, H. and T. Yeager. 2002. Production of Spathiphyllum using three irrigation
17. Dolan, S.G. and D.R. Keeney. 1971. A self-watering system for growing plants in potted soils. Agron. J. 63: 334-336.
18. Henley, R.W. 1982. Capillary mat irrigation of container-grown ornamental plants. Soc. Florist Nurserymen 95: 23-25.
19. Henley, R.W. 1997. Influence of wick material and wick width on the growth of Diffenbachia maculate ‘Compacta’ using deep channel/pot wick irrigation in a greenhouse environment. Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf. 42: 471-473.
20. methods. Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf. 47: 596-599.
21. Neal, C.A. and R.W. Henley. 1992. Water use and run off comparisons of greenhouse irrigation systems. Proc. Fla. State. Hort. Soc.105: 191-194.
22. Toth, J., E.J. Nurthen, and K.Y. Chan. 1988. A simple wick method for watering potted plants which maintains a chosen moisture regime. Austral. J. Expt. Agr. 28:805-808.
23. Van Iersel, M.W. and K.S. Nemali. 2004. Drought stress can produces mall but not compact marigolds. HortScience 39: 1298-1301.
24. Yeager, T.H. and R.W. Henley. 2004. Irrigation and fertilization for minimal environmental impact. Acta. Hort. 638: 223-240.

Application and development of smart irrigation technology for greenhouse crop cultivation

Shin-Jong Lai[1], Ya-Jing Yang[1], Shu-Jen Lee[1]

[1] Associate Researcher of Taoyuan DARES, MOA

ABSTRACT

Global agriculture is generally facing difficulties such as labor shortages, water shortages and climate change. Smart technology provides a safe and stable agricultural production model. Water management is the most basic and critical cultivation management for crop production. Smart irrigation uses environmental sensing and programmed remote, which has the advantages of precision, labor saving, water saving and stability. This article applies the self-developed Internet of Things monitoring information system and monitoring equipment, combined with irrigation pipelines and sub-irrigation trays to develop smart irrigation technology for vegetables, kalanchoe and phalaenopsis. The human-machine collaborative irrigation technology was verified at the Taocheng Vegetable Production Cooperative. The webduino blockly were used to edit the daily light integral for triggering irrigation during the growth period. Through LineBOT human-machine interaction, the daily light integral thresholds for triggering irrigation was gradually established and verified in pak choy, amaranth and water spinach. Irrigated 32 times in total during5 croppings of vegetables and other crops, with a cumulative irrigation volume of 98,659 L. Compared with the irrigation scheduling, it can save 94.1% of the irrigation volume and more than 90% of the irrigation manpower. A comparison of the total water consumption of Kalanchoe smart sub-irrigation, smart drip irrigation and manual drip irrigation at Datong Flower Farm in Taoyuan City was 988, 1,608, and 10,123 L respectively. It shows that both the smart sub-irrigation or smart drip irrigation mode have water saving benefit compared to manual drip irrigation, and 84.1-90.2% of water can be saved. Between the two smart irrigation modes, the smart sub-irrigation mode is the most water-saving, 38.5% of water. A soil moisture meter was used to monitor the moisture content of the Phalaenopsis cultivation medium, and the impact of smart irrigation water at the bottom of the 3.5-inch pot Phalaenopsis on plant growth was explored. The test materials are commercially available Phalaenopsis 3.5-inch potted plants. The four varieties are *Phal.* Sogo Yukidian'V3', *Phal.* Charming Oriental Beauty 'Lee1150', *Phal.* Fuller's Pink Swallow 'Lee1159' and *Phal.* Fuller's Sunset 'JB2035'. Three types of bottom irrigation water volume treatments were 175, 200 and 225 ml per pot respectively. The plants were grown and cultivated for 5 months in spring. The results showed that there were significant or extremely significant differences in the varieties and irrigation water volumes of Phalaenopsis in 3.5-inch pots, but the differences between varieties and irrigation water volumes were significant. There is no sympathetic effect. The irrigation water volume of 225 ml per pot in 3.5-inch pots will reduce the breeding rate of *Phal.* Sogo Yukidian. The bottom irrigation water volume treatment has the best breeding rate with the least irrigation water volume. The traditional manual watering has fewer irrigation times, but the total irrigation volume is higher. This automatic bottom irrigation can save 55% of irrigation water compared with traditional top watering irrigation.

Keywords: Facility vegetables, Kalanchoe, Phalaenopsis, smart irrigation, Internet of Things

作物模式應用新契機-以番茄作物模式 TOMGRO 為例

康樂[1]、陳柱中[2]

[1]農業部農業試驗所作物組助理研究員

[2]農業部農業試驗所農業化學組副研究員

摘要

自動介接溫室氣溫及光強度，並經由修正後之番茄生長及產量動態模型 TOMGRO，可模擬以慣行方式栽培大果番茄「993」之葉面積指數、主幹節數、地上部乾重及累積產量變化，R^2 值分別為 0.890、0.998、0.888 及 0.996。而應用大氣氣溫預報資料，也可經推估後轉成作物模式所需環境數據，對於光強度的 R^2 值可達 0.92，擴展作物模式用於模擬未來情境。影像分析技術的發展則可幫助快速評估作物即時狀態，如影像平均綠色比率與光截取率高度相關、R^2 值超過 0.95，可用於快速建立作物模式中不同品種之參數，或提供栽培管理決策資訊。隨著資通技術與大氣科學預報技術發展，作物模式可更容易即時運算並可擴展應用範圍，有助於智慧農業發展。

一、前言

作物模式化係指利用一連串數學方程式，描述作物隨時間變化而改變的發育與生長狀態，一方面可以協助研究者進行作物生長模擬研究，另一方面也可以藉由轉化研究結果產出栽培管理決策建議，協助栽培者進行不同尺度之栽培管理應用。不過由於影響作物生長的因子眾多，且作物模式通常含有大量方程式，需要投入眾多觀測資料及大量運算，加上作物品種變更速度快，而不同作物品種常需要先建立其作物模式所需之參數組，因此在傳統上常趕不及回應栽培管理的即時需求，降低了作物模式的應用性。而隨著智慧農業發展，農業栽培環境甚至是個別溫室內之微氣象的即時監測已逐漸普及，另一方面隨著影像分析等表型技術發展，機器學習與演算法的快速開發，讓我們更有機會同時處理多個變數並且增加準確度，這都增加了作物模式參數校正與即時計算的可能性，使作物模式的應用產生新契機。

二、材料與方法

(一) TOMGRO 模式參數本土化

TOMGRO 係由 JW Jones 在 1991 年發表之番茄生長及產量動態模型，主要以碳平衡的角度模擬溫度與光照對番茄之生長及產量變化，模式的輸入資料包括溫室內每小時溫度與光量子通量密度 (PPFD)，移植期的葉面積、地上部乾重及節數，模式輸出檔為每日的主幹節數、地上部乾重、果實乾重、成熟果實乾重，透過水分含量可轉換為果實鮮重。本研究自 2020 年起於農業試驗所之溫室，以離土栽培大果番茄主流商業品種「993」，確保栽培期間符合 TOMGRO 之水養分供應充足之假設；栽培期間每周調查番茄主幹節數、葉面積及果實大小及產量等數據，並架設溫室環境監控設備，自動記錄溫

室內外溫度、濕度及光量子等環境數據，最後整合作物生長及環境數據，進行 TOMGRO 模擬驗證，並進行部分參數及方程式之修改，使本番茄作物模式之模擬結果可更貼近本土實際觀測結果。

(二) 資訊系統資料介接與重要環境參數推估

由於目前許多資訊系統適用 Python 語法，因此將本作物模式以該語法建立，以便利於後續不同系統介接或包埋使用，另一方面透過 API，自動向溫室環境監控系統取得環境資料，並將其轉化成作物模式所設定之時間尺度，使環境資訊可自動取得，不必再透過檔案之格式進行資料傳遞，加速歷史即時資料之運算速度。

而為了要建立預測能力，經由資訊系統介接公開氣象預報資料，並建立示範溫室重要環境參數與附近氣象資料之關聯，使公開之氣象預報資料可轉換為示範溫室之未來推估環境資料，進而推估預報期間之作物生長及產量。

(三) 影像分析技術之建立及應用

為了評估影像分析技術用於作物模式重要參數調查之可行性及應用性，本研究一方面調查番茄生長及生產數據，另一方面開發對應之影像分析程式，分析畫面中平均綠色比率及不同成熟階段之果實重量，比較實際調查與影像分析結果，評估影像分析技術之應用性。

三、結果與討論

(一) 大果番茄「993」的作物模式模擬

將農業試驗所 19 號田溫室 D 棟之環境參數 (溫度及光強度)，分別以 TOMGRO (JW Jones, 1991) 及 STICS (Valdez-Gomez H, 2014) 模式及其預設參數進行模擬，並與大果番茄的「993」生長參數實際調查數值比較，結果顯示兩個公開的模式在參數調整前模擬結果與實際調查數值及趨勢皆有明顯差異 (圖 1)，明顯不符合我國大果番茄實際生長狀況。經由調整模式內預設參數，STICS 模式仍無法有效改善其模擬之準確度，而調整 TOMGRO 參數後，模式葉面積指數模擬結果與實際生長參數有明顯改善 (圖 2)，展現出近一步應用之潛力。

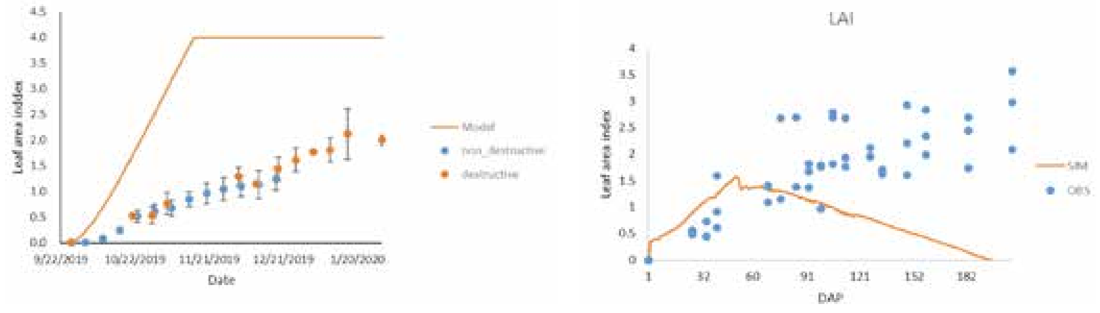


圖 1. TOMGRO (左) 及 STICS (右) 模式之預設參數對葉面積指數之模擬結果 (紅線) 及實際調查結果。

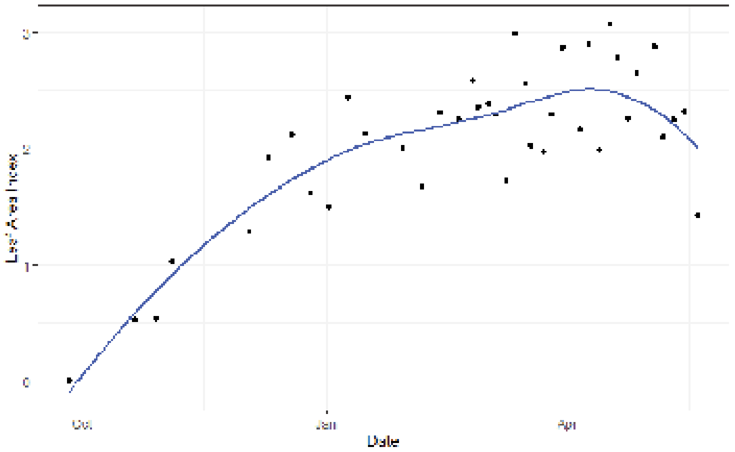


圖 2. 校正預設參數後，TOMGRO 模式對於葉面積指數之模擬結果 (藍線) 及實際調查結果 (黑點)。

另由於我國慣行栽培時，會移除部分老葉，且非停心型的大果番茄「993」在經過一段時間之栽培後，常於栽培期結束前摘心，以方便栽培管理以及促進產期後期之產量。因此我們在模式內，修改部分方程式，設定葉面積指數上下限，模擬番茄生長期間移除老葉葉面積與乾重；另設定最大節數門檻，停止新葉生長。使用多年期的資料進行參數校正調整，結果調整後之作物模式，在葉面積指數、主幹節數、地上部乾重及累積產量上，模擬結果與實際調查數值差異明顯降低，觀測值與模擬值 R^2 接近或高於 0.9、斜率界於 0.76-1.1 之間 (圖 3)，顯示經調整之作物模式，在輸入溫室實際量測之環境參數後，已有大果番茄「993」生長參數良好的模擬能力。

(二) 環境參數推估

由於調整後的作物模式可用以模擬溫度與日射量對於番茄生長與產量影響，為增進作物模式之應用性，我們嘗試引入氣象署之預報資料，轉換為溫室內的溫度與光照預報，進而應用作物模式預測未來情境對大果番茄「993」之生長及生產。

氣象署的預報資料僅有特定地點之大氣環境氣溫預報，必須先產生溫室內光強度及溫度之推估數值，才能符合本作物模式的需求。因此我們利用氣象署位於農業試驗所內之氣象站資料，以及 19 號田溫室 D 棟 (19-4) 及另外一間同為塑膠布溫室之 13-6 溫室的實測資料進行兩者模式化，一方面進行溫室內光強度 (PPFD) 之推估，另一方面以不同方程式進行溫室內溫度之推估 (圖 4)。

模式化的結果，純應用氣溫進行日射量推估與該氣象站資料之歷史資料有一定之準確度 (圖 5)；且進一步使用此日射量推估數值計算溫室內外溫差後，所計算之溫室內部氣溫推估值比直接使用戶外溫度與室內溫度的回歸方程式，有更佳的推估效果，R^2 值可從 0.85 提升至超過 0.92 (圖 6)。

模式化的結果，純應用氣溫進行日射量推估與該氣象站資料之歷史資料有一定之準確度 (圖 5) ；且進一步使用此日射量推估數值計算溫室內外溫差後，所計算之溫室內部氣溫推估值比直接使用戶外溫度與室內溫度的回歸方程式，有更佳的推估效果，R^2 值可從 0.85 提升至超過 0.92 (圖 6)。

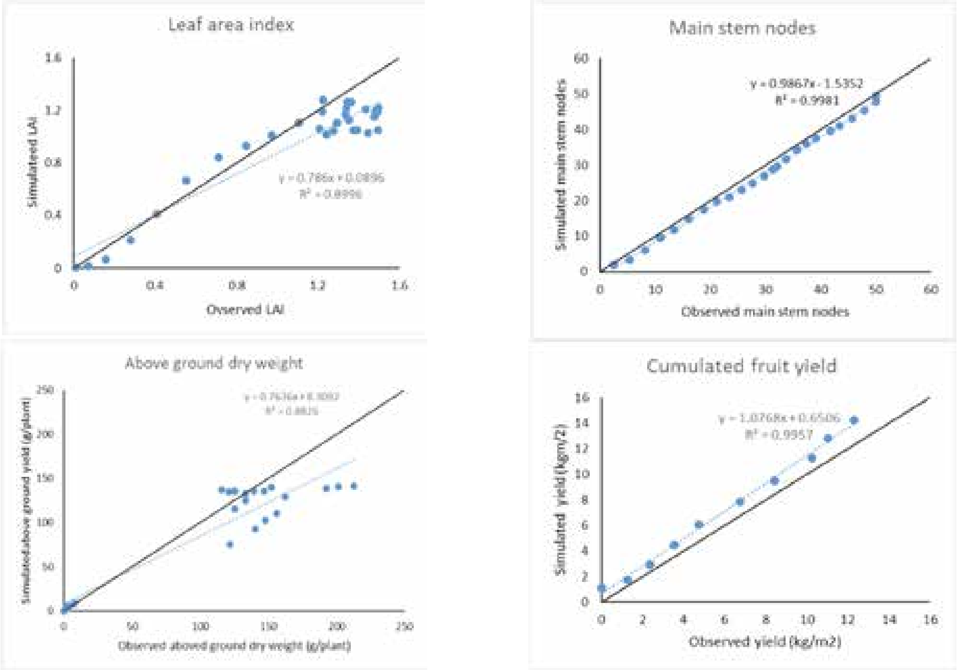


圖 3. 經修正之作物模式，對大果番茄「993」葉面積指數 (左上)、莖節數 (右上)、地上部乾重 (左下) 及累積產量 (右下) 之模擬數值 (縱軸) 與實際調查數值 (橫軸) 之散佈圖，黑色實線為 1:1。

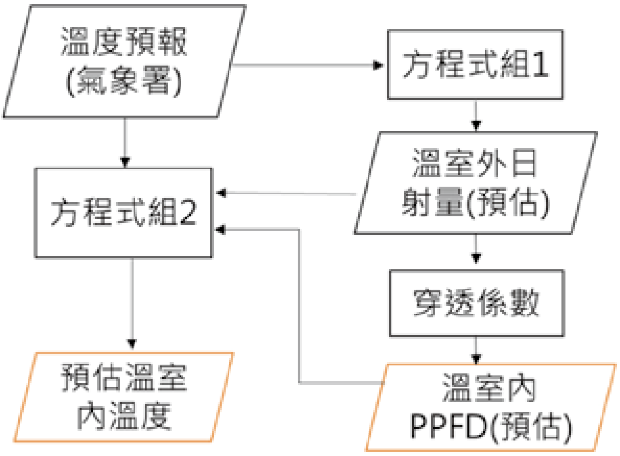


圖 4. 應用氣象署溫度預報進行溫室內溫度及光強度 (PPDF) 推估之流程圖。

(三) 影像分析驗證

在 2023 秋作期間，我們逐周抽樣調查大果番茄「993」的生長參數來計算葉面積指數，使用 A.P. Papadopoulos 等人 (1997) 建議的參數估算光截取率 (%)，並與影像分析之畫面平均綠色面積比率 (%) 進行比較，結果發現兩者關係密切，R^2 高於 0.95 且線性回歸斜率接近 1 (圖 7)，顯示影像分析畫面綠色比率，可有效用於推估番茄葉面積指數，

也可與環境參數經作物模式估算之葉面積指數進行比較，協助作物模式參數調整或是作為植物健康程度的評估指標。

而透過影像分析之成熟果實重量，可能受限於影像畫質及影像分析精準度不足，與實際逐周採收之產量差異較大，R^2 值僅達 0.66 (圖 8)，仍有待持續開發影像分析技術。

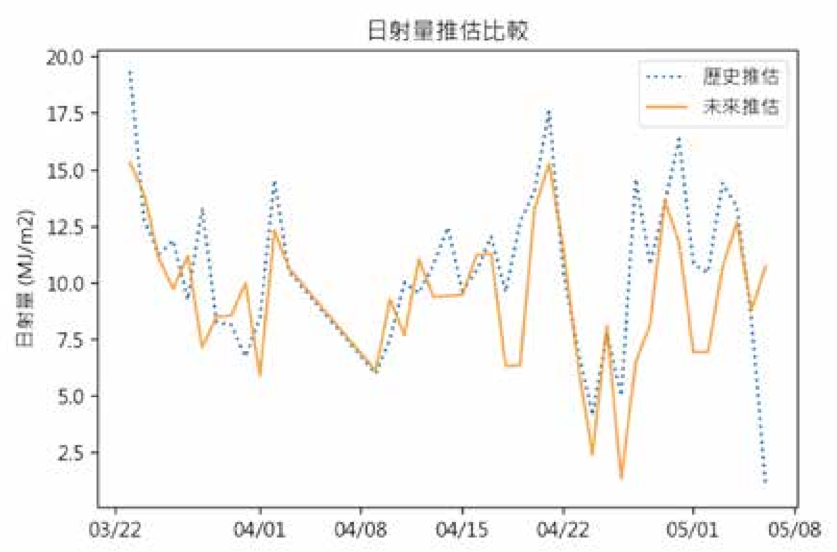


圖 5. 農業試驗所氣象站之實際計算日射量 (藍色虛線) 及應用溫度所推估之日射量 (橙色實線) 折線圖。

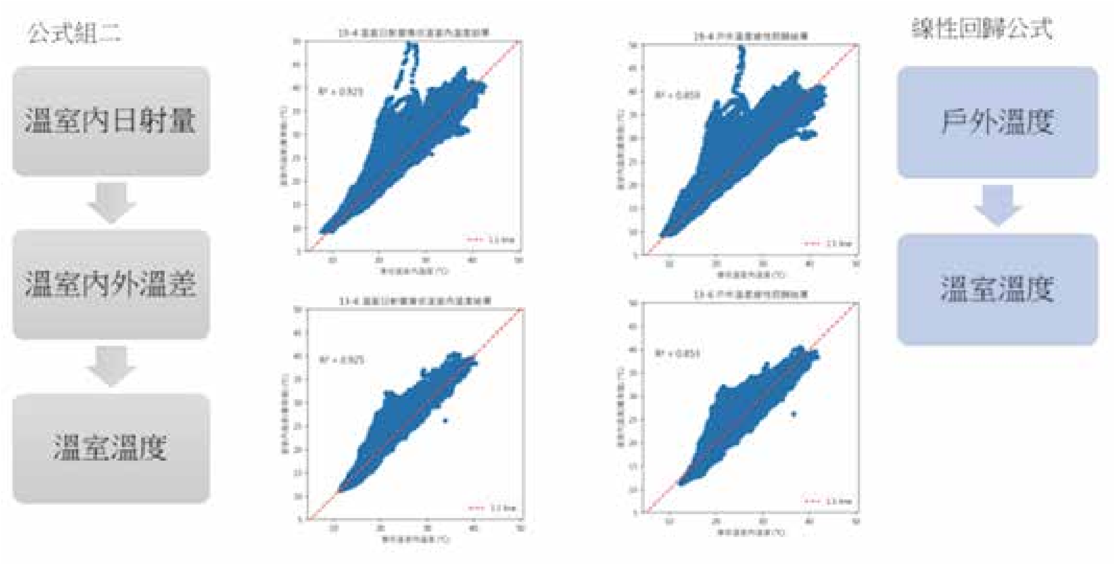


圖 6. 農業試驗所 19-4 (上) 及 13-6 (下) 溫室以不同推估流程之溫室室內推估溫度 (橫軸) 與實際量測溫度散佈圖。

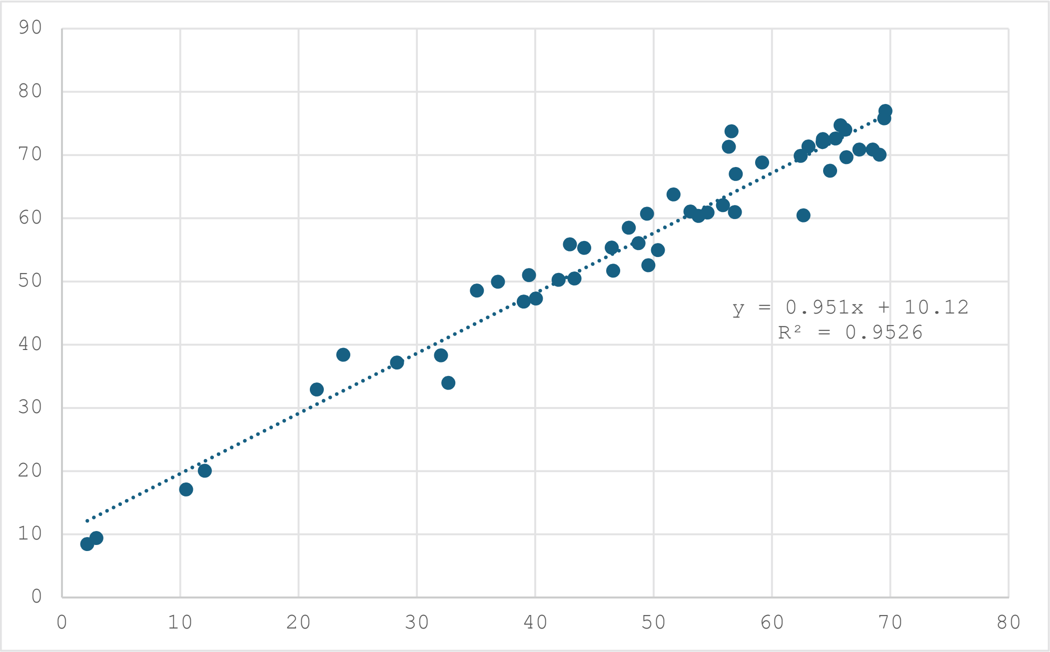


圖 7. 實際調查數值估算之光截取率 (%) (橫軸) 與影像分析之畫面平均綠色面積比

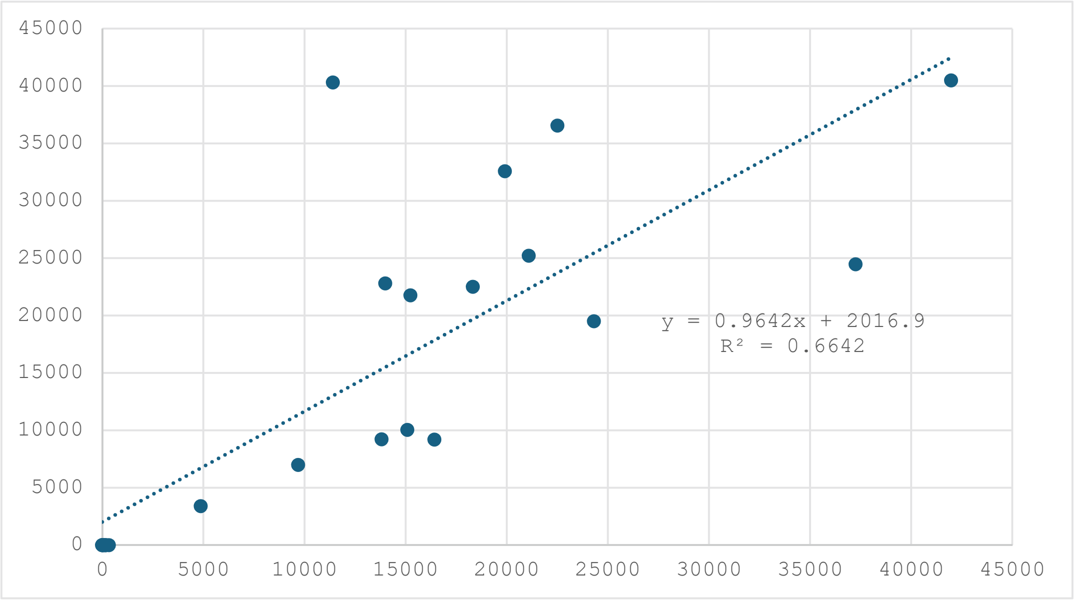


圖 8. 影像分析之成熟果實重量 (g) (橫軸) 與實際採收之產量 (g) (縱軸) 散佈圖。

四、結論

作物模式的開發及相關研究已有長久的文獻基礎，但早期因為環境參數及作物生長參數調查較為耗時、內含方程式較為複雜、且不同作物品種及栽培方式也可能需要不同的參數組，在應用上常無法即時修正參數並作出模擬計算，降低了在栽培管理上的應用性。

本研究以我國慣行栽培模式、多年期調查番茄生長及生產的數據，修正 TOMGRO 內部分參數及部分方程式，改善了作物模式對於大果番茄「993」主幹節數、葉面積指數、地上部乾重及累積產量等的估算準確度，並且應用公開之氣象預報資料，估算符合作物模式所需之未來環境參數，使作物模式的推估範圍可隨氣象預報技術發展而延展。

另一方面影像分析技術可提供作物生長及生產狀態的快速分析結果，可直接提供栽培者掌握作物即時資料，由於 TOMGRO 是假設番茄是在水及養分供應充足且植株健康狀態下，模擬番茄在不同氣溫及光度環境下之生長及生產狀況，因此若番茄實際之生長與生產狀態偏離預測結果，可能暗示栽培管理或植株健康狀態有所變化。

由上可知，隨著資通訊及氣象預報技術的發展，可擴展作物模式的應用方便性，快速校正作物參數、及時評估作物狀態與未來發展推估，進一步邁向智慧生產的目標。但相關資訊整合技術及栽培管理操作建議，可能已非一般生產者可完全掌握，需要分工由其他業者提供服務。因此作物模式不僅從生產端協助作物，同時也可能促成新產業，是推進我國智慧農業完整發展的重要一環。

參考文獻

1. Jone, J. W., E. Dayan, L. H. Allen, H. Van Keulen, and H. Challa.1991. A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). Transactions of the ASAE 34:0663–0672.
2. Valdez-Gomez, H., C. Gary, N. Brisson, and F. Matus. 2014. Modelling indeterminate development, dry matter partitioning and the effect of nitrogen supply in tomato with the generic STICS crop-soil model. Sci. Hort. 175: 44-56.20.
3. A.P. Papadopoulos, S. Pararajasingham, The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review, Scientia Horticulturae, Volume 69, Issues 1–2, 1997, Pages 1-29, ISSN 0304-4238, https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00983-1.

New opportunities for crop model application

Le Kang[1] Chu-Chung Chen[2]

[1] Assistant Researcher, Crop Science Division, TARI
[2] Associate Researcher, Agricultural Chemistry Division, TARI

ABSTRACT

The automatic integration of greenhouse temperature and light intensity data, along with the modified Tomato Growth and Yield Dynamic Model (TOMGRO), allows for the simulation of leaf area index, main stem node count, above-ground dry weight, and cumulative yield changes for the beef tomato variety "993" under conventional cultivation practices. By applying atmospheric temperature forecast data, it can also be used to estimate and convert into the environmental data required by crop models, expanding the simulation of future scenarios. The development of image analysis technology helps to quickly assess the real-time status of crops, establish parameters for different varieties in crop models, or provide decision-making information for cultivation management. With the advancement of information and communication technology (ICT) and atmospheric science forecasting, crop models can be more easily calculated in real-time, and their application scope can be expanded, contributing to the development of smart agriculture.

Keywords: Crop Model, Tomato, Smart Agriculture

羊隻自動化精料餵飼系統

邱奕志[1]、蔡惟至[2]

[1] 國立宜蘭大學生物機電工程學系終身特聘教授、財團法人農業機械化研究發展中心主任

[2] 國立宜蘭大學生物機電工程學系碩士

*Email: yichiu@niu.edu.tw

摘要

羊隻生長之精料營養供給非常重要，以確保健康生長，而少量多餐的餵給精料模式，可有效提升羊隻之換肉率或泌乳量。由於台灣羊場飼養規模不大，需將不同羊隻生長階段飼養於同一羊舍，以區段分隔。精料餵飼時，需依照各個生長階段供給不同精料配方。因此本研究目的旨在開發一套羊隻省工自動化精料餵飼系統，以懸吊方式行走於羊場內，並可偵測不同區段之飼養羊隻進行精料配比的施放。

羊隻自動化精料餵飼系統由飼料桶與精料配出機構、懸吊式飼料箱移動機構，以及感測控制單元等三個部份組成。研製之飼料桶具備兩個子桶，可放置兩種不同精料，並依照餵飼區段給予不同飼料配比、精料餵飼量及餵飼時間等設定。透過變頻器設定飼料配出馬達轉速以達成各區域兩子桶之不同放料速度，來達成不同餵飼區域不同精料配比的要求，每日可設定多個餵飼時段。經由飼料桶裝設振動馬達，試驗粉狀、小顆粒與大顆料之飼料，其殘料率皆為 0，代表飼料桶內之精料可以完全排出，不會有死角結塊之問題。

在實際場域之作業能量試驗結果顯示，餵飼系統可依照設定時間和不同區段偵測，完成整個排程的餵飼。藉由羊農餵飼試驗，以一天餵飼八次，每次每隻羊 100g 的精料施放，此少量多餐的精料餵飼模式，可有效提升羊隻的泌乳量 10%。開發之自動餵飼系統具有實用價值，目前已推廣至羊場應用，有效解決國內面臨缺工之問題，達成省工自動餵飼之目的，並有效提升羊隻飼養品質。

關鍵詞：羊隻、餵飼、自動化、精料、精準管理

一、緒論

應用精準自動化系統幫助農民生產與管理是重要的發展趨勢，透過自動化解決勞工短缺與農村人力老化的問題，也可以降低勞工作業的危險性。藉著自動化機器，可使飼料投放更加精準，減少人力餵飼時造成每一餐餵飼量不同的情形。本研究研製一套羊隻自動化精料餵飼系統，可偵測餵飼區段，進行不同精料配比的餵飼、調整不同區段的餵飼量、可設定餵飼時間等功能。透過機器取代人力進行每日繁複的餵飼工作，達到精準放料，減少餵飼人力支出，透過少量多餐餵飼模式，提升乳羊的泌乳量。

二、材料與方法

2.1 羊隻自動化精料餵飼系統之控制架構

設計之羊隻自動化餵飼系統，於彰化縣神來牧場設置系統之試驗及功能評估，其飼養羊隻數量約為 400 頭。羊舍採高欄羊床的設計，長 55 m、寬 10 m，半開放式四周無遮蔽物。羊群主要分為仔羊、懷孕羊、泌乳羊、女羊，以柵欄隔開放養於不同的區域。系統依照個別生長階段，給與不同的精料配方。設計之羊隻自動化精料餵飼系統分為飼料桶與配出單元、懸吊式飼料桶移動單元、飼料補充單元，以及感測控制單元，圖 1 為系統控制功能架構，利用可程式邏輯控制器做為控制中心，透過可程式變頻器控制精料配出馬達轉速、懸吊式驅動輪馬達移動速度。

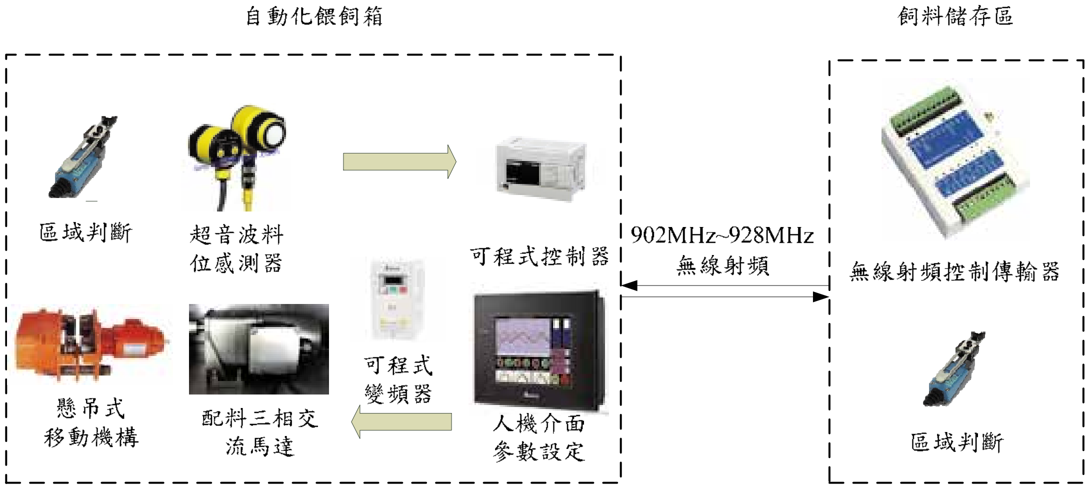


圖 1. 羊隻自動化精料餵飼系統之控制架構

2.2 羊隻自動化精料餵飼系統之設計

自動化餵飼系統依照樹狀圖規畫，進行人機介面功能之設計 (圖 2)，分為手動操作介面、自動操作介面及異常紀錄介面三大項。手動操作可控制補料高度、天車移動速度、移動方向、兩子桶放料速度、放料時間等功能 (Mitsubishi FX3U-32M PLC；Delta Electronics, DOP-B05S111, 5.6” color monitor)。自動操作功能可設定每天餵飼次數與放料時間。飼料桶與精料配出機構之設計，動物領域學者建議以少量多餐方式投料，每隻

羊一餐餵食 100 g，每次共餵飼 400 頭羊隻，需 40 kg 精料。將飼料桶分為二個子飼料桶，各載重 20 kg，飼料體積重量比約為 1.5:1。本研究設計子飼料桶容量為 54 公升。由於羊欄有頸夾的設計，羊場柵欄平均每公尺有 3 隻羊，換算每公尺需投精料 300 g。外部大桶長 730 mm、寬 360 mm、高 760 mm；子飼料桶長 360 mm、寬 350 mm、高 700 mm；放料開口長 98.4 mm、寬 64 mm (圖 3)。餵飼程式先確認各極限開關定位正常，天車 (1-HP drive wheel motor) 定速搜尋原點，到原點開始確認天車移動速度、兩子桶配料之相對應變頻器參數，各項參數符合設定，才會開始行走並投料 (0.5-HP distribution motor)，投料過程震動馬達作用 (PUTIA 15/2S-9, Shenzhen Putia Vibrating Motors Co., Ltd., Shenzhen, China)，避免堵料或架橋現象。天車行進至下一個區域，相對應極限開關感測後，天車會停止行進，重新確認設定的數值。各區域皆完成投料作業，回到原點由超音波感測器 (Banner, T30UXUA)，偵測是否需要補充飼料，若需補料，天車會行走至補料位置，由無線通訊模組傳遞雙向訊號 (Wenshing Electronics Co., Model: RD-800HI) 進行補料，完成後再回至原點並結束程式。程式執行過程中若有一個區域的極限開關沒有感測到，會停止所有排程，並將異常原因紀錄於人機介面的異常畫面。

2.3 羊隻自動化精料餵飼系統之試驗

(a) 移動投料均勻度之試驗

以固定行走速度搭配左右桶同時投料，以每間隔 10 Hz 的頻率，調整配料馬達。接料盒每 10 cm 為間隔，共 5 格，分析數據驗證移動放料功能是否均勻穩定，且放料功能需達到每公尺 300 g 的放料量。第一部分進行 3 種不同飼料之行進動態投料，將投料結果進行方差分析。第二部分在相同行進速度狀態，測試不同投料速度之均勻度。第三部分係為了解影響投料量變因的試驗，分別進行不同飼料影響投料情況的分析，單桶投料量與雙桶投料量之差異分析。

(b) 羊隻自動化精料餵飼系統之作業時間測試

以變頻器調整天車移動速度，測試羊隻自動化精料餵飼系統移動與感測之正常運作，於上下限值內調整頻率，間隔每 10 Hz，做出完整排程動作，每一個頻率重複試驗 5 次，紀錄程式開始與結束所需時間，測定羊隻自動化精料餵飼系統的於不同移動速度的作業時間關係。

三、結果與討論

3.1 羊隻自動化精料餵飼系統之研製

將初步試驗功能皆正常的羊隻自動化精料餵飼系統，安裝於羊舍進行整體功能驗證 (圖 4)，以仔羊、懷孕羊、泌乳羊、女羊等區分不同時期的羊隻，依照各個生長階段，提供不同比例的精料配方，試驗場域平面配置 (圖 5)。

3.2 羊隻自動化精料餵飼系統之試驗分析

(a) 三種不同顆粒大小飼料的移動投料均勻度試驗分析

使用無黏性的大顆粒、小顆粒、粉狀等三種精料，進行移動投料均勻度試驗，配料馬達頻率從 10 至 60 Hz，每間隔 10Hz 設置。使用大顆粒精料，配料馬達轉速由低至高，以方差分析所獲知 P 值分別為 0.981、0.910、0.541、0.805、0.535 及 0.697。使用小顆粒

精料，配料馬達轉速由低至高，以方差分析所獲知 P 值分別為 0.982、0.910、0.940、0.948、0.971 以及 0.723。使用粉狀飼料，配料馬達轉速由低至高，以方差分析所獲知 P 值分別為 0.998、0.739、0.760、0.955、0.905 及 0.888。三種不同粒徑的精料，於動態投料均勻度分析，在 95 %信心水準下沒有差異，也確證所研製的自動配料機構，可穩態適用於場域之投料需求。

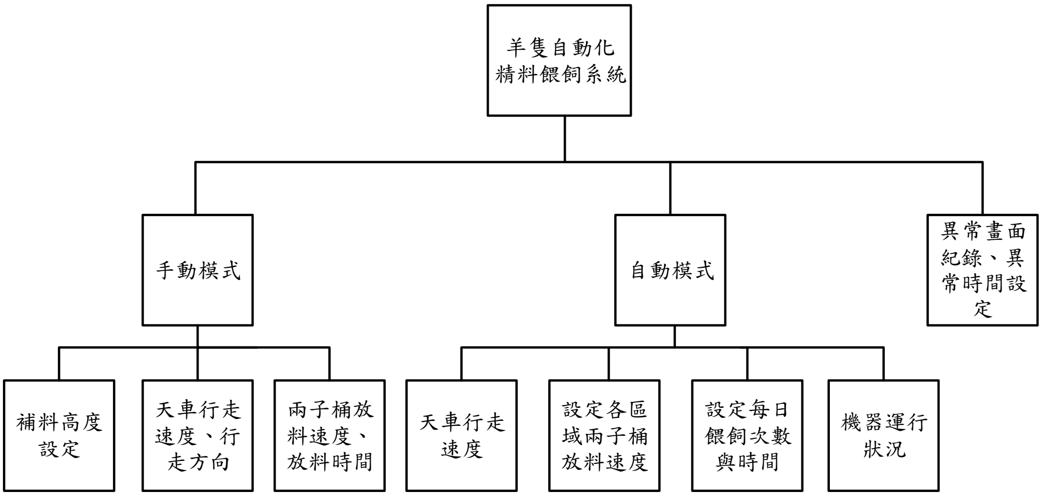


圖 2. 自動化餵飼程式功能樹狀圖

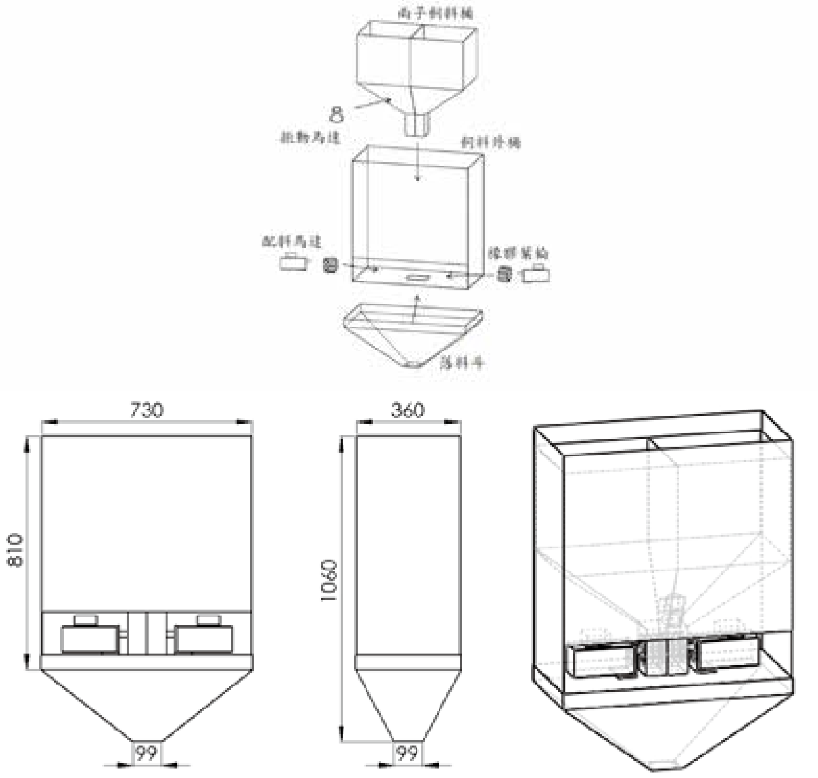


圖 3. 整體飼料桶與配出裝置之組合

圖 4. 試驗場域之整體功能試驗驗證

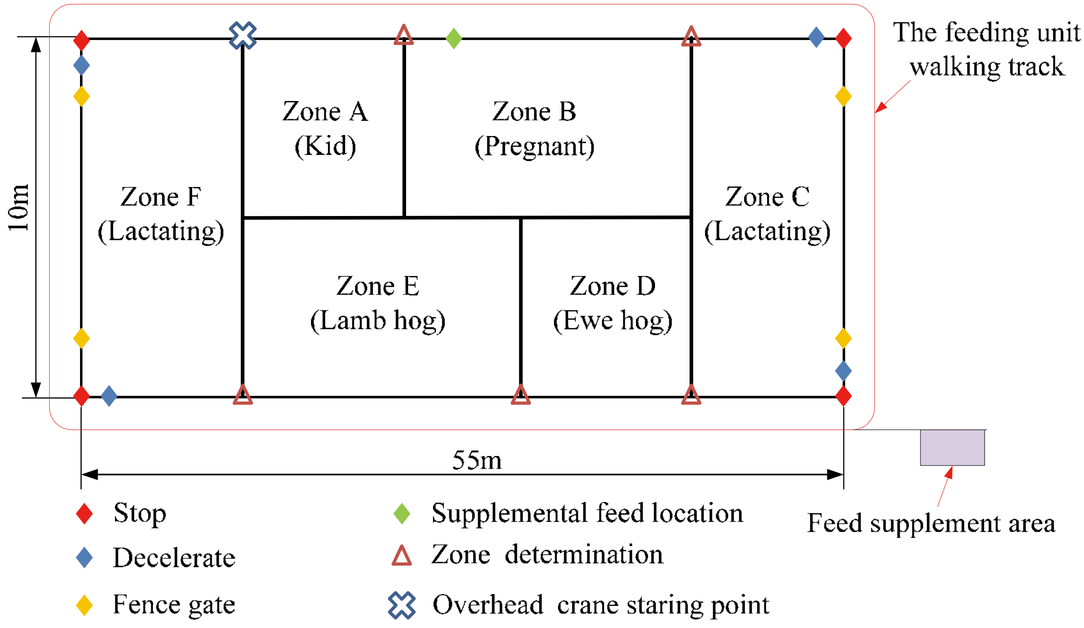


圖 5. 試驗場域之各區羊欄之分區判斷配置

(b) 三種不同顆粒大小於不同行進速度之投料均勻度分析

投料的試驗過程，有些料粒會受擠壓而碎裂產生粉狀料粒，因此影響體積重量比。每試驗批次所使用的飼料體積重量比，都有些微差異，試驗分析發現投料量所測得之實際值，小部分會因此大於理論值。然整體試驗分析可得知，三種粒狀飼料於投料行進速度與投料量的關係，皆為正相關，相關性係數都在 0.99 以上 (圖 6)，以此確證羊隻自動化精料餵飼系統的功能及穩定性極高。

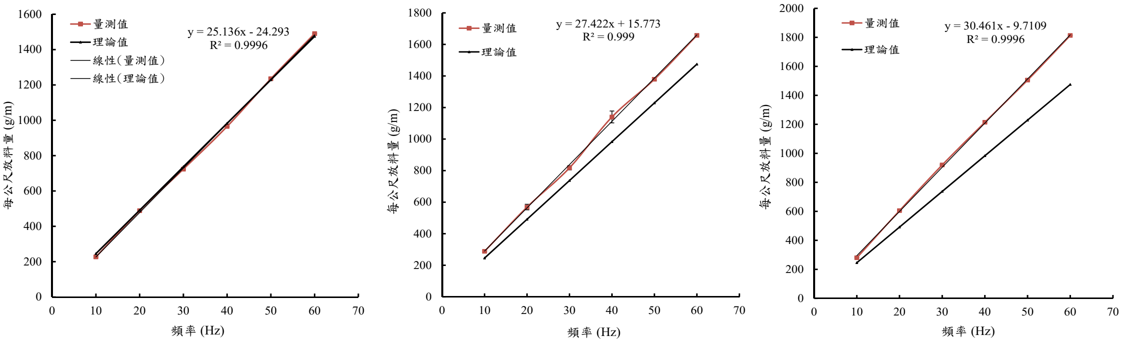


圖 6. 三種粒狀飼料於不同行進頻率 (速度) 與投料量之線性關係

(c) 影響投料量變因之試驗分析

不同行進速度與投料量關係之分析結果，可得知在不影響放料穩定性下，行進速度與放料量呈現負相關。行進速度越快每單位長度之放料量越低 (圖 7a)。當單桶配料馬達頻率設置為雙桶配料馬達頻率的二分之一，整體投料結果差異性不大，證明二個精料子桶的投料配置不會互相影響 (圖 7b)。於正常投料狀態之穩定性，不同精料的體積重量比，會影響投料量，試驗分析得知呈負相關，體積重量比越大，投料量越低 (圖 7c)。

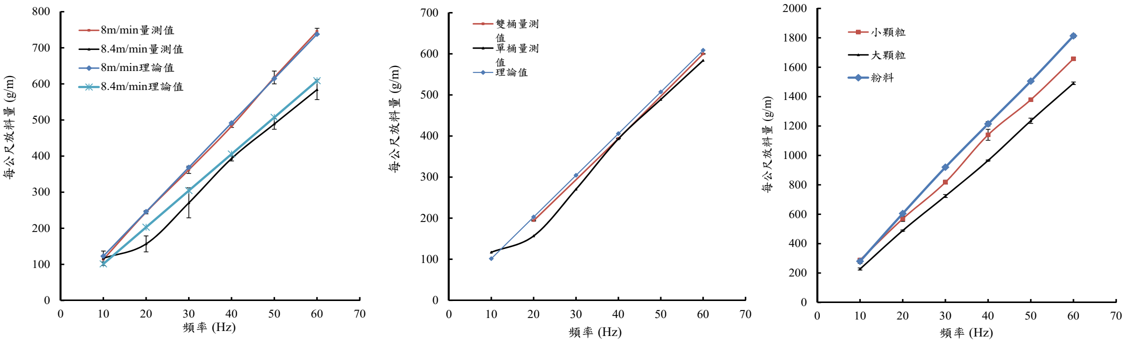


圖 7. (a) 不同行進速度與放料量關係，(b) 單桶與雙桶投料之差異分析，(c) 不同粒狀精料與投料量之關係

3.3 羊隻自動化精料餵飼系統之作業能量結果與分析

羊隻自動化精料餵飼設備之作業能量試驗於羊場進行，自動排程設定為 A、B、D、E 區放料，C、F 區不放料。完整自動排程與頻率之關係圖測試範圍定為 20～50 Hz。天車移動馬達頻率與移動速度雖為線性關係，當天車頻率設定為 60 Hz 時，仍會造成區域判斷感測器來不及感應，會使整個飼料箱體啟動與停止時的慣性動量太大，致天車搖晃劇烈。當天車馬達移動頻率設置小於 20 Hz，天車移動行走過慢，會造成同一區羊隻有多次進食情形，羊隻會在最開始的投料區域進食之後，又跑到天車行進至區域的末端再進食一次。平常設置天車之行進頻率為 30 Hz，天車移動馬達頻率設置為 30 Hz 之完整自動排程時序 (圖 8)，完整行程於羊舍自動排程所需時間為 16 分 30 秒。實測不同天車馬達頻率設置之移動速度與完整自動排程時間關係 (圖 9)。

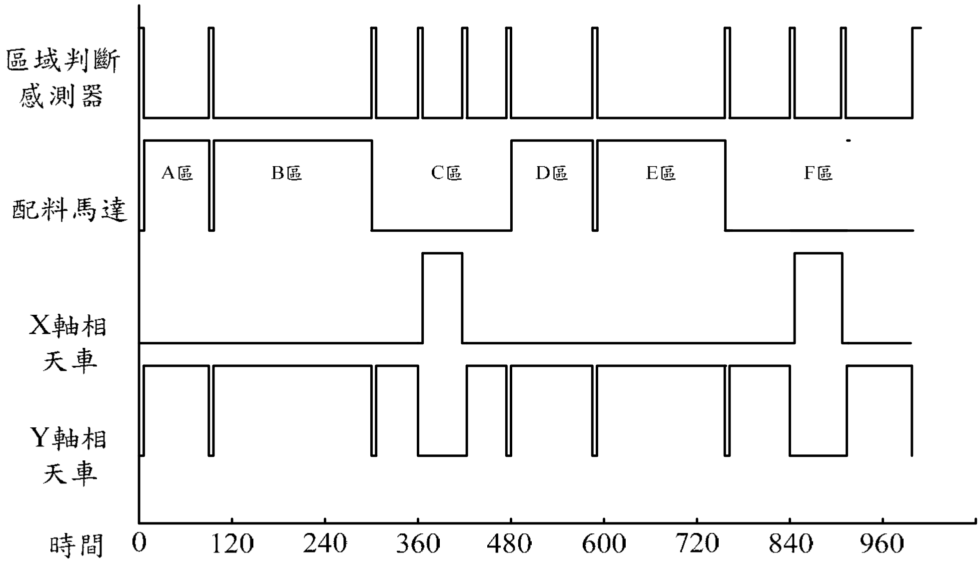


圖 8. 天車移動馬達設置為 30 Hz 之自動排程時序

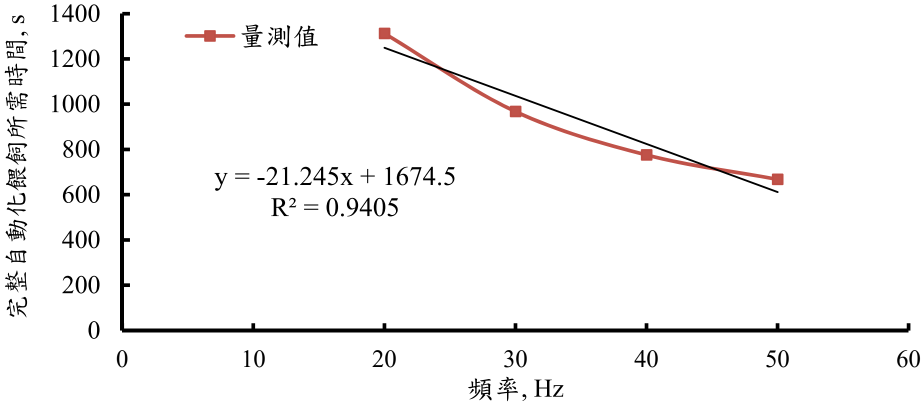


圖 9. 天車移動馬達設置不同頻率 (移動速度) 繞場所需之時間關係

四、結論

試驗場域的羊舍採高欄羊床式之設計，因此設計為懸吊式移動機構，實際於乳羊場架設使用羊隻自動化精料餵飼系統，設置在六個區域的不同餵飼需求，每天定量投料八次。本系統可適用於無黏性大顆粒、小顆粒、粉狀尺寸的羊隻飼料之投放，在各種投料馬達轉速設置下，投料量皆十分穩定。由影響投料量變因之試驗分析結果可知，影響投料量的變因有，體積重量比、葉輪體積、機器行進速度，配料馬達轉速等四項。由實際操作情形可得知，天車行進速度保持低速度最佳，行進速度越低能夠降低天車於啟動與停止時的慣性。平常天車移動馬達頻率設置為 30 Hz，完整行程於羊舍自動排程所需時間為 16 分 30 秒，整體投料穩定度高，且放料量能夠符合羊場每公尺 300 g 之最低放料量。經實測一年，羊隻畜牧場反映確實提高乳羊的泌乳量 10% 以上。

Automated Feeding System for Distributing Concentrated Goat Feed

Yi-Chich Chiu[1] Wei-Chih Tsai[2]

[1] Professor, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University. & Director, Taiwan Agricultural Mechanization Research and Development Center.

[2] Master, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University.

ABSTRACT

Nutrition is crucial for goat husbandry; therefore, concentrated feeds are necessary to ensure the health of goats. To feed small meals but more often, which can assist feed conversion rate or lactation yield. Because of the relatively small scale of Taiwanese goat farms, goats at various growth stages are kept in the same barn but separated into zones. Different concentrated feed formulas are needed for goats at different growth stages. Therefore, the objective of this study was to develop an automated feeding system for distributing concentrated feed for goats that can be suspended from the roof and is capable of detecting different zones and adjusting the distribution proportion accordingly. This system comprises a feed bucket and distribution mechanism, suspended feed bucket moving mechanism, and the sensor control unit. By using variable frequency drive to set motor speeds. The feed bucket developed in this study incorporates two sub buckets for different types of feed and distributes different proportions and quantities of feed at different times according to the feeding zone. The trial carried out by farmers indicated that under a feeding program in which goats were fed 8 times per day with 100 g of concentrated feed distributed per goat per meal, the lactation quantity was effectively increased by 10%. This system was demonstrated to have practical value and commercial potential. An extensive application of this system in the future may resolve the labor shortage that besets goat farming and effectively improve farming quality.

Keywords: Goats, feeding, automation, concentrated feed, precision management.

電動農機發展規劃與展望

黃惟揚[1]、李汪盛[2]
[1] 農業部桃園區農業改良場 副研究員
[2] 農業部桃園區農業改良場 研究員兼科長

摘要

隨著全球對碳排放的關注和環保法規的日益嚴格，農業機械的電動化已成為不可逆轉的趨勢。電池技術、電動馬達及智能控制系統的迅速發展為電動農機的普及提供了可能性。本文結合國內外電動農機發展現狀，探討未來電動農機的發展方向及其在智能農業中的應用。本文分析了目前電動農機的技術挑戰，並提出電動農機在推進農業現代化中的發展策略。

關鍵詞：電動農機、智能農機、電池管理系統、高扭力馬達、智慧農業。

一、緒論

全球氣候變遷與資源短缺的壓力促使各國採取積極行動減少碳排放。農業機械作為碳排放的重要來源之一，必須向更環保的方向發展。隨著內燃機的逐步淘汰及電動技術的成熟，電動農機成為未來農機發展的核心方向。特別是隨著電池技術和電機技術的進步，電動農機具備了實際應用的可行性。本文將分析電動農機的技術背景、現狀，並對其未來發展進行展望。

二、電動農機技術發展現狀

電動農機的技術核心在於電池系統、電機系統及其智能控制。近年來，電池能量密度的大幅提高及成本的降低，使得農機電動化變得更加經濟可行。尤其是鋰電池的應用，如鋰鐵磷酸電池具有較好的穩定性及長壽命，被廣泛應用於多種農業機械中。

- **電池技術**：電池作為電動農機的主要能源，其技術進展對電動農機的發展至關重要。現今常用的鋰電池具備高能量密度、長壽命及充放電效率高等優點，但在農業應用中需要進一步改進其抗震性及防護功能。此外，智能電池管理系統 (Battery Management System, BMS) 能精確監測電池剩餘電量，優化充放電過程，以延長電池壽命。
- **電機技術**：電機是驅動電動農機的關鍵部件，其性能直接決定了農機的工作效率和適用性。目前國內外電動農機多採用直流無刷馬達 (BLDC)，因其高效節能、低維護成本和良好的控制性能，已廣泛應用於各類小型農業機械中。但在高扭力需求的農機具如曳引機、管理機等領域，現有的電機技術仍需進一步提升，以提供更高的功率和更好的工作效率。
- **智能控制系統**：電動農機的智能化控制系統已成為研發重點之一。物聯網 (IoT)、大數據及人工智慧 (AI) 的應用使得電動農機的自主化和精準農業成為可能。具備自動

駕駛功能的電動農機，如履帶式電動智慧跟隨農地搬運機，已經在農業生產中展現出巨大的應用潛力。

三、國內電動農機發展現狀

臺灣的電動農機研發進展迅速，並且涵蓋了多種類型的農業機械，針對不同作物和農業作業需求進行開發。以下是國內在電動農機領域的主要發展成果：

- **臺灣大學生物機電學工程系開發三種類型馬達：**

  臺灣大學針對電動農機開發了三種類型的馬達，這些馬達分別應用於中耕機 (圖 1)、搬運車 (圖 2) 及小型曳引機 (圖 3)。這些高效能的直流無刷馬達可以提供穩定的動力輸出，同時具備良好的扭矩控制能力，適應不同類型的農業作業。特別是在中耕機和搬運車的應用上，這些馬達提供了可靠的性能，實現了作業的電動化和智能化。

圖 1. 電動中耕機 (3.5kW，1,800rpm 48V BLDC 馬達)

圖 2. 電動搬運車 (6kW，3,600rpm 72V 氣冷直流無刷馬達)

圖 3. 電動曳引機 (12kW，2,400~6,500rpm 96V 水冷直流無刷馬達)

- **臺東區農業改良場開發的電動噴藥機：**

　　臺東區農業改良場研發的乘座式果園電動噴藥機 (圖 4)，使用 6kW 三相永磁同步馬達和可更換式鋰電池，達到持續作業 90 分鐘的續航能力。該機型在果園操作中大大降低了傳統柴油噴霧機帶來的噪音、振動和碳排放。

圖 4. 乘坐式果園電動噴霧機械

- **高雄區農業改良場開發的韭菜收穫機：**

　　高雄區農業改良場開發的韭菜電動收穫機 (圖 5)，針對韭菜的收穫需求進行了精確設計。該機具不僅提高了收穫效率，還減少了農民的體力勞動，通過電動馬達驅動，具備良好的環境適應性和效能。

圖 5. 電動韭菜採收機

- **桃園區農業改良場開發的電動移植機及採收機：**

  桃園區農業改良場在電動農機領域的研究開發了多種設備，包括電動移植機 (圖 6) 及電動葉菜收穫機 (圖 7) 等。其中，電動移植機可單人作業，每分地約種植 4 萬株穴盤苗只需 2.5 小時，左右行距 15cm，可調前後株距 12~25cm，而葉菜收穫機的應用則顯著提升了葉菜類作物的收穫效率。

圖 6. 電動式菜苗移植機

圖 7. 電動葉菜收穫機

- **國立中興大學生物產業機電學系開發電動農膜回收機：**

  中興大學開發了一種專門用於農膜回收的電動機具 (圖 8)，該設備能夠將田間的廢棄塑料膜有效回收，減少環境污染並節省人力。該設備使用鋰電池驅動，操作便捷且高效，特別適合於農業規模化生產中的廢膜回收作業。

圖 8. 牽引式電動農膜回收機

- **國立中山大學機械與機電工程學系開發的香蕉採收機：**

  中山大學研發了一款針對香蕉的電動採收機，這款設備通過電動升降平台和自動化控制系統實現對香蕉的高效採收。該機具不僅提升了生產效率，還減少了農民在高溫下進行手動採收的辛勞。

圖 9. 中山大學研發了一款針對香蕉的電動採收機

四、電動農機未來發展策略

為推動電動農機在農業領域的全面應用，需從以下幾個方面著手：

- **高扭力馬達及控制系統研發：**

  電動農機需要針對不同作業需求開發高扭力、低轉速的馬達及智能控制系統，以提高馬達在高負荷作業中的適應性，特別是搬運車 (圖 10) 和中耕機 (圖 11) 等農機具馬達。

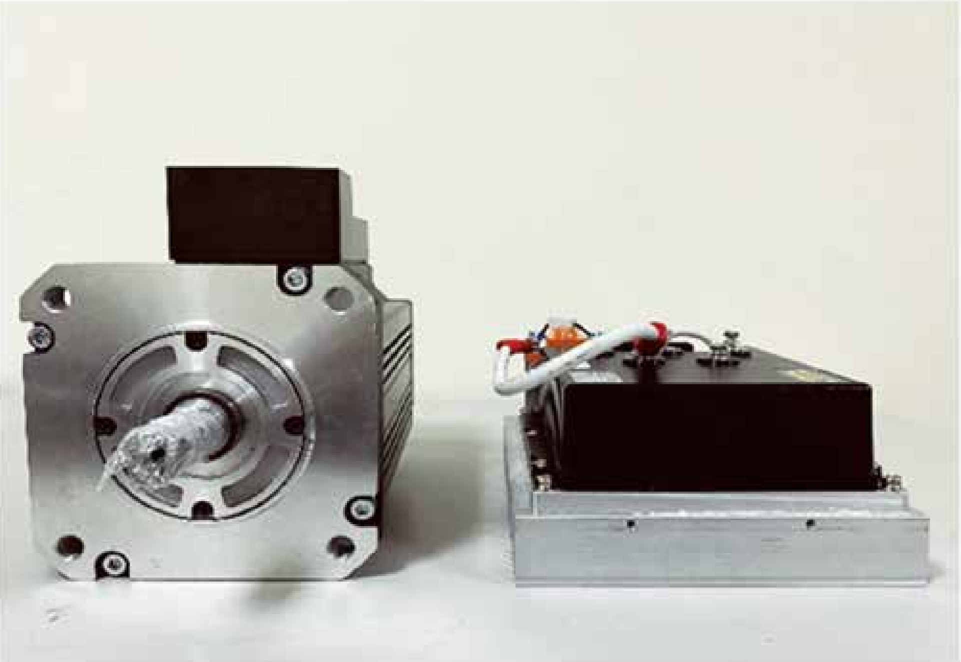


圖 10. 電動搬運車馬達 (臺大研發)

圖 11. 電動中耕機馬達 (臺大研發)

- **電池管理系統優化：**

針對農業作業的特殊需求，需開發具有智能充放電管理功能的電池系統，並結合太陽能等可再生能源進行持續供電，以提高電動農機的作業時間和可操作性。

- **智慧農機的推廣：**

  隨著農業自動化趨勢的發展，電動農機將逐漸與物聯網及人工智慧技術結合，實現更加精準的農田管理。智慧除草機、智慧搬運機等具備自動導航和障礙物避讓功能的電動農機具將成為未來農業的重要工作。

五、結論

電動農機的發展不僅符合全球減碳趨勢，也將成為提升農業生產效率的重要手段。未來的電動農機發展需要在電池技術、電機系統及智能控制等關鍵領域進行技術突破。隨著技術的不斷進步，電動農機將在減少碳排放、提高農業生產力方面發揮更加積極的作用。

參考文獻

1. 2024 電動農機研發及技術應用研討會論文集，2024 年，農業部桃園區農業改良場。
2. 李汪盛，2021 年，電動農機未來發展展望，省工農機研發及技術應用研討會。

Development Planning and Prospects of Electric Agricultural Machinery

Weiyang Hwang and Wang-Sheng Li

Crop Environment Division, Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture.

ABSTRACT

As global attention on carbon emissions increases and environmental regulations become stricter, the electrification of agricultural machinery has become an irreversible trend. The rapid development of battery technology, electric motors, and intelligent control systems has made the widespread adoption of electric agricultural machinery feasible. This article reviews the current development status of electric agricultural machinery both domestically and internationally, and explores the future directions for its development and applications in smart agriculture. It also analyzes the current technical challenges of electric agricultural machinery and proposes strategies for advancing agricultural modernization through its adoption.

Keywords: Electric agricultural machinery, Smart agricultural machinery, Battery management system, High-torque motor, Smart agriculture.

中部地區園藝作物省工農機研發應用

田雲生[1]、張金元[2]、張佳偉[3]、徐迺晴[4]
[1]農業部臺中區農業改良場研究員兼科長
[2]農業部臺中區農業改良場副研究員
[3]農業部臺中區農業改良場助理研究員
[4]農業部臺中區農業改良場技佐

摘要

臺中區農業改良場針對中部地區園藝作物生產管理所需，研究開發許多省工自動化農業機械，以解決勞動力短缺與高齡化問題，並期達成 2040 年農業淨零的目標。本文介紹電動施肥機、電動鼓風式噴霧機、介質碎石分離處理機及穴盤苗移苗機等 4 項研發成果：電動施肥機結合自走、鼓風撒肥功能，提升效率達 4 倍、減碳 71% 及節省能源費用 76%；電動鼓風式噴霧機以全電取代引擎動力，採獨立馬達設計，碳排減少 96.9%，可降低噪音、溫度與振動，並改善操作環境；介質碎石分離處理機應用於文心蘭等盆栽作業，以滾筒迴轉分離碎石與植株，效率提升 3 倍，亦適用於其他盆栽與堆肥篩選；穴盤苗移苗機則針對苗株移植進行開發，可依序達到苗株頂起、夾取、移動及放置的功能，成功率達 90% 以上，提升生產栽培場域之自動化程度。上述農機具顯著提高作業效率、降低人力負擔並減少碳排放；未來應持續優化技術與推廣應用，同時推動產學研跨域合作，鼓勵農民採用電動化、低碳排農機，實現農業現代化轉型與永續發展。

關鍵詞：省工、減碳、電動化、機械化、施肥、鼓風噴霧、移苗。

一、前言

農業部臺中區農業改良場 (以下簡稱本場) 服務轄區涵蓋臺中、彰化及南投三縣市，幅員遼闊、環境豐富，園藝作物之蔬菜、果樹、花卉栽培面積分別占全臺的 17%、27.6% 及 58.7%，是極為重要且具特色的農業生產區域。近年來，農事生產因勞動力外移與高齡化問題嚴重，以及農業部門訂定 2040 年淨零目標，亟需研發應用各類省工、電動機械化以提高作業效率與農產業競爭力。鑑於此，本場針對園藝作物創新研發許多機械化、自動化與智慧化技術，自 109 年迄今累積取得 14 項專利、完成 19 件技術授權案，可示範推廣供相關農友應用。本文謹擇取其中之電動施肥機、電動鼓風式噴霧機、介質碎石分離處理機及穴盤苗移苗機等 4 項研發成果進行介紹與說明。

二、材料與方法

(一)試驗材料：電動施肥機、電動鼓風式噴霧機、介質碎石分離處理機及穴盤苗移苗機研發所需之各項機體結構、金屬及塑膠材料、油氣壓組件、PLC 與電控感測元件、線材及五金零組件等。各類機械試驗量測用計時器、計數器、捲尺等。

(二)實施方法：針對電動施肥機、電動鼓風式噴霧機、介質碎石分離處理機及穴盤苗移苗機予以研發改良，並行機械性能、作業效率等測試調查。

三、結果與討論

(一) 電動施肥機

針對果園撒施追肥所需，試驗開發 1 台手扶自走式電動施肥機 (圖 1)，除供果園行走作業外，亦可兼用於作畦栽培蔬菜園。本機前驅動輪設計採 DC36V*700W 電動輪轂馬達行走，蓄電池容量 DC36V*20Ah，後支撐輪可依果園或蔬菜園使用時快速更換為雙輪或單輪；肥料桶入料口設有防架橋撥桿，避免發生架橋情形，以及鼓風裝置輔助撒肥具有出肥與否、單雙向選擇、肥料出量多寡等三階段調整功能 (圖 2)。經測試結果可知，施肥機最高前進、後退速度分別為 8.4 及 3.2 km/hr，肥料箱容量 60 L，粒狀肥料最大撒施量為 15.8 kg/min、撒施距離 2.1 m，蓄電池充飽電作業時間約為 3 hr。其作業效率較傳統人工負載肥料、手工施肥而提升 4 倍；每小時耗電量約 440Wh，與同級汽油引擎耗油量 0.3L 相比，兩者每公頃碳排量分別為 0.26 及 0.91 kg CO_2e，顯示電動施肥機減碳達 71%；再導入現行電價及油價計算，本機之能源使用費用可節省約 76%。

本項成果係結合電動自走與鼓風撒肥功能之省工農機，已獲得我國新型專利「電動施肥機結構」 (證號 M629841)，並完成非專屬技術授權予「鍵隆機械實業有限公司」進行商品化製作，以及輔導授權業者通過性能測定與 112 年起列入農糧署省工高效及碳匯農機補助牌型，足達成減輕果蔬園施肥辛勞、提高作業效率及節能減碳之效。

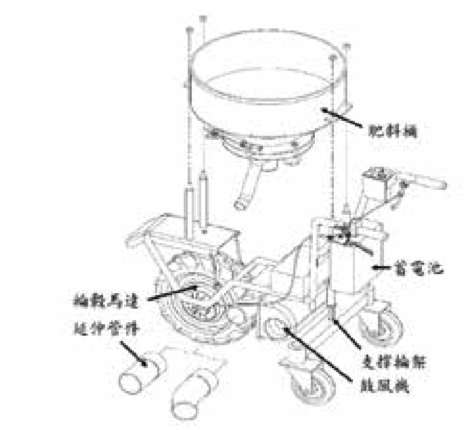


圖 1. 電動施肥機組成架構

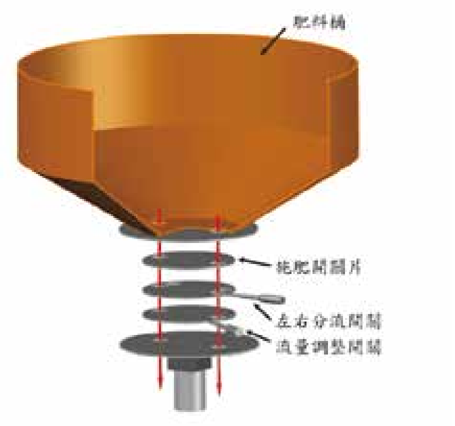


圖 2. 施肥機三階段調整功能

(二) 電動鼓風式噴霧機

鼓風噴霧機為棚架果園中常用之農機設備，其利用鼓風裝置將加壓之霧化藥液均勻散布於作物枝葉表面，可提升農藥防治的效果與效率。因傳統鼓風式噴霧機是由汽、柴油引擎透過皮帶與變速箱組驅動行走、噴霧與鼓風部，使各部分無法獨立調整驅動速度，同時在引擎高速運轉下產生噪音及廢氣排放等問題，為實現淨零減碳目標與建構友善的工作環境，遂以永三源牌 YSY316 型噴藥機為行走底盤，試驗改良一款電動鼓風式噴霧

機 (圖 3)。電動化設計改良之機械採用 7.3 kW 之馬達作為行走動力源，噴霧機使用 3kW 馬達作為幫浦動力，而鼓風風扇則由 3 kW 馬達驅動，蓄電池為鋰鐵電池 4 packs、8.45 kWh、176 Ah 之規格。

本項研發成果為乘坐、電動、鼓風式噴霧機，其行走、噴霧、鼓風各自獨立馬達可穩定整體作業效能 (圖 4)。在電動化與傳統燃油式鼓風噴霧機分別進行 2 ha 之作業，以估算碳排放量，原柴油引擎每小時碳排放量為 127.75 kg CO_2e，而電動化施作後之碳排放量為 3.96 kg CO_2e，碳排減量達 96.9 %，另外改善傳統引擎式之農機噪音值下降 48%、無排放高溫廢氣問題至作業溫度下降 54.2% 及振動量下降 70%。將傳統引擎驅動式之鼓風噴霧機設計改良為電動化機型，可大幅降低碳排放量、噪音、溫度、振動等不良因素，對於人員長期操作下可免受高噪音、廢氣排放與高溫的危害，同時不必仰賴汽柴油等化石燃料的使用，亦可符合環境保護之永續效益。目前完成「鼓風驅動構造之設計改良」非專屬技術授權予「尚龍實業有限公司」進行商品化製作。

圖 3. 電動鼓風式噴霧機前視圖

圖 4. 電動鼓風式噴霧機於葡萄園進行噴霧作業

(三) 介質碎石分離處理機

臺灣文心蘭切花以盆栽生產管理，每分地 9,000-10,000 盆，並以碎石或混搭木炭、樹皮等為介質，每隔 5-7 年汰換老株以確保切花品質。現階段碎石與植株分離多仰賴人力為之 (圖 5)，每小時處理 30-50 盆，相當辛苦與費工。本場研究團隊參酌茶葉炒菁機作業原理 (圖 6)，設計研製 1 組介質碎石分離處理機，以筒壁具 3 cm 孔洞、可調速的迴轉滾筒及相關配件所組成，操作時由人工脫盆後，將老舊植株投入滾筒內，經迴轉攪動可將碎石與植株分離，碎石自滾筒壁下方的孔洞中篩出，植株則藉由傾斜滾筒與筒內具螺旋狀排列的圓鐵撥片向後方輸送。包括手推電力驅動 (圖 7) 及車載驅動 (圖 8) 2 種機型，前者具有 4 個支撐輪、採用交流馬達驅動，設計將篩出的碎石以錐形斗集中，再由傾斜輸送帶導出裝籃 (袋)；後者則逕置於農用搬運車上，以既有引擎動力經變速箱組或串聯蓄電池經直流馬達帶動傳遞至滾筒迴轉，篩出的碎石以平面輸送帶橫向單側送出，再予以收集或後續應用，整體作業效率較人工快達 3 倍以上。

本項研發成果已獲得我國新型專利「滾筒式分離裝置」(證號 M624671)，並完成非專屬技術授權予「東星辰企業社」進行商品化製作，除文心蘭作業應用外，也適合於以碎石 (磚) 為介質之國蘭盆栽廢棄清園時使用，以及在堆肥舍搭配輸送帶等裝置將堆肥進行篩選、分級機械化作業，惟該標的作物或作業項，所需滾筒與其孔洞之尺寸規格、傾斜角與迴轉速度等須適度修飾或客製化調配，方具多功能與多樣化運用。

圖 5. 人力分離碎石與植株

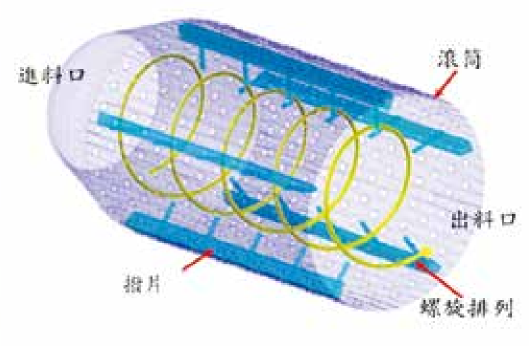


圖 6. 分離處理機作業原理

圖 7. 手推電力驅動式

圖 8. 車載驅動式

(四) 穴盤苗移苗機

在穴盤苗的應用下，農業生產不僅達到集約化的管理模式，也提升苗株的存活率及品質，使作物產量持續提升，然而在農業高齡化及勞動力短缺的課題下，現行需以人工進行移植作業的穴盤苗則面臨挑戰。本場針對近年來發展快速的洋桔梗產業著手，搭配水耕栽培場域，研製 1 台水耕洋桔梗自動移植機 (圖 9)，實現可自動化將苗株自穴盤移至水耕用保麗龍盤之承苗杯中，達到穴盤苗頂起、苗株夾取、苗株移行及等距擴大、苗株置入保麗龍盤等 4 項功能，完成移植作業。機具在整體作業成功率皆可達 9 成以上，平均 42.6 sec 完成 12 株苗之移植作業，17 min 45 sec 完成 1 盤 288 格穴盤，2 min 21 sec 完成 1 盤 40 格保麗龍盤。目前機具已於實地場域測試操作，以符合實際栽培管理需求及減輕農民成本負擔為目標，落實產業機械化省工，減輕農民栽培辛勞，提升生產規模及經濟效益。

本項研發成果已獲得 2 項我國新型專利「植物頂起裝置」 (證號 M636649) 及「植物抓取裝置」 (證號 M638295)，其作為移植苗株之關鍵機構 (圖 10)。植物頂起裝置提供固定穴盤並具頂苗之功能，使苗株介質與穴盤分離，以利後續作業 (圖 11) ；植物抓取裝置提供夾放苗株之功能，並可梳理葉片，保留苗株完整 (圖 12)。以上完成非專屬技術授權予「全裕機械廠有限公司」進行商品化製作，其成果可不限定洋桔梗單一作物，可更廣泛的應用在水耕栽培蔬菜穴盤苗或規格化之介質栽培苗株移植作業，確具潛力與發展性。

圖 9. 水耕洋桔梗自動移植機

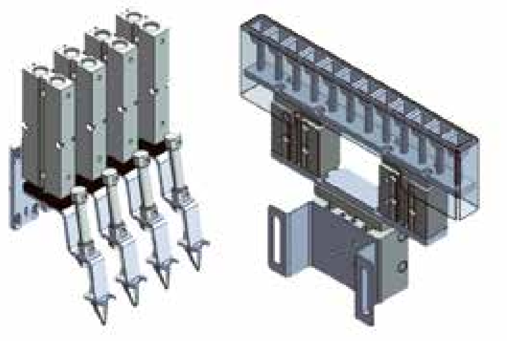


圖 10. 植物抓取裝置 (左) 與植物頂起裝置 (右)

圖 11. 穴盤苗頂起之情況

圖 12. 穴盤苗夾取之情況

四、結論與建議

本場針對園藝作物之生產過程，透過農民需求研發與應用多種電動、省工機械，有效提升農業生產效率及環保效益。研製電動施肥機、電動鼓風式噴霧機、介質碎石分離處理機及穴盤苗移苗機等機具之開發，不僅改善傳統人工操作辛勞，同時降低碳排放，實現節能減碳之目標。具體而言，電動施肥機可提高施肥效率至 4 倍以上，並顯著減少碳排放與能源費用；電動鼓風式噴霧機則達到 96.9% 的碳排減量，且降低作業噪音和高溫廢氣的危害；介質碎石分離處理機使文心蘭和國蘭等盆栽管理流程機械化，提升作業效率超過 3 倍；穴盤苗移苗機在自動化移植作業中，達到高效且穩定的操作成效，顯著減輕了人工移植的負擔。

建議未來持續強化這些技術的優化與多樣化應用，開發更多適合不同作物需求的專用機具，並推廣至農友及生產者群體。推動產學研合作，可擴展技術在實際生產中的應用，並促進相關技術之商品化進程。此外，因應氣候變遷議題提供相對應之鼓勵措施與與支持，以鼓勵農民採用高效能、低碳排的農機，實現產業的現代化轉型與永續發展目標。透過不斷創新與實踐，預期未來中部地區的農業生產將更具競爭力，並有效減輕高齡化與勞動力短缺對農業生產的衝擊。

參考文獻

1. 田雲生、張金元。2017。手推式施肥機之研製。臺中區農業改良場研究彙報。134: 11-19。
2. 田雲生、張金元。2018。手扶自走式施肥機之研製。臺中區農業改良場研究彙報。139: 53-63。
3. 行政院農業委員會農業試驗所。2002。永三源牌 YSY316 型自走鼓風式噴藥機性能測定報告。臺中市，臺灣。
4. 呂英石、李新濤、陳昱全、鄭經偉。2003。可調整式花卉穴盤苗假植機構之研究。農業機械學刊。洋桔梗主題館-農業知識入口網，網址：https://kmweb.coa.gov.tw/subject/index.php?id=64。
5. 林永順、謝清祿。2006。自走式鼓風噴霧車在番荔枝果園施藥技術之研究。農業機械學刊 15(4): 1-10。
6. 洪榆宸、張金元、李東霖。2022。洋桔梗穴盤苗移植機構之研發。p.49-51。2022 生機與機械學術研討會論文集。
7. 財團法人工業技術研究院。2024。產品碳足跡資訊網，網址：https://cfp-calculate.tw/。
8. 陳令錫、田雲生、張旭志、何榮祥。2008。電動自走鼓風噴霧機之開發。臺中區農業改良場研究彙報 99: 51-59。
9. 張智富。1997。穴盤種苗假植機構控制系統之研究。中興大學農業機械工程研究所碩士論文。
10. 蔡宛育、陳彥樺、陳姿翰。2012。國內洋桔梗產銷概況。洋桔梗栽培及利用專刊。臺中區農業改良場特刊第 110 號。p.4-11。行政院農業委員會臺中區農業改良場編印。
11. 鄭經偉、黃裕益、陳衍君。1997。氣壓式假植機之研製(I)－設計與試驗。農業機械學刊 6(4): 49-60。
12. 鄭經偉、黃裕益、陳衍君、欒家敏。1998。氣壓式假植機之研製(II)－移載之定位控制。農業機械學刊 7(3) : 75-84。
13. 龍國維。2001。菊花盤苗自動插苗機之研究。臺中區農業改良場研究彙報。72: 1-27。
14. Current Robotics Reports. 2023. Robotics and Autonomous Systems for Net Zero Agriculture. Springer.
15. Fox, R. D., Derksen, R. C., Zhu, H., Brazee, R. D., Svensson, S. A. 2008 A history of air-blast sprayer development and future prospects. Transactions of the ASABE Vol. 51(2): 405-410.
16. International Council on Clean Transportation. 2021. Impact of Using Electric Vehicles on Carbon Emissions. IEEE Xplore.

Development and Application of Labor-Saving Agricultural Machinery for Horticultural Crops in Central Taiwan

Yun-Sheng Tien[1] Chin-Yuan Chang[2] Chia-Wei Chang[3] Nai-Ching Hsu[4]

[1] Researcher and Section Chief of Taichung DARES, MOA.
[2] Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.
[3] Assistant Researcher of Taichung DARES, MOA.
[4] Associate Technician of Taichung DARES, MOA.

ABSTRACT

Taichung District Agricultural Research and Extension Station has developed various labor-saving and automated agricultural machinery tailored to the needs of horticultural crop management in central region. This effort addresses labor shortages, an aging population, and aims to achieve agricultural carbon neutrality by 2040. This article introduces four research innovations: an electric fertilization device, an electric blast spray truck, a media-stone separation processor, and the transplanting machine of plug seedlings. The electric fertilization device combines self-propelled and blower-assisted fertilizer spreading functions, enhancing efficiency by up to 4 times, reducing carbon emissions by 71%, and saving 76% on energy costs. The electric blast spray truck replaces engine power with fully electric, independently motorized components, reducing carbon emissions by 96.9%, lowering noise, temperature, and vibration, and improving the working environment. The media-stone separation processor is used for potted plant, such as with Oncidium. It uses a rotary drum to separate stones from plants, improving efficiency by 3 times, and also suitable for other potted plants and compost screening. The transplanting machine of plug seedlings automates the lifting, clamping, moving, and placing seedlings, achieving a success rate of over 90%, advancing automation in production and cultivation fields. These agricultural machines significantly improve operational efficiency, reduce labor demands, and lower carbon emissions. Future efforts should continue to optimize technology and promote applications while fostering cross-domain cooperation among industry, academia and research institutions, and encourages farmers to adopt electric and low-carbon agricultural machinery, facilitating the modernization and sustainable development of agriculture.

Keywords: Labor-saving, carbon reduction, electrification, mechanization, fertilization, blower spraying, transplanting.

雲嘉南地區省工農機具研發應用及展望

鍾瑞永、王志瑋
農業部臺南區農業改良場

摘要

雲嘉南地區雜糧、園藝產業興盛，因應農業缺工、從農人口老年化等問題，相關省工農機與自動化技術應隨現代化發展，各種農作物需要一貫作業機械輔助，同樣溫室蔬菜也出現設施應用需求，近來為研發應用推廣下，雲嘉南地區機械發展腳步加劇，隨機械化優化與研發下，胡麻、大蒜、果樹等機械開發成功，但也相應提高農友對機械的期待未來更需要投入更多能量，並隨政策方向，達成農業及土地永續生產的目標。

關鍵詞：雲嘉南地區、農業缺工、省工農機與自動化

一、緒論

西部地區為農業生產大縣，農業產業興盛，包含水稻、大豆、胡麻、大蒜、蔬菜等，但現今面臨農業缺工、從農人口老年化等問題，農村勞動力下降，需多產業面臨生產成本提高問題，對此政府大力推廣機械化，因此相關省工農機與自動化技術應隨現代化逐步發展。機械化作業需要針對雲嘉南地區農作物栽培特性，進行研發或改良適用機械，而非單一機械可以概括。不只是大田區作物機械，包含雲嘉南育苗場溫室，目前投入眾多機械研究，也有需多團隊開發多種機械，包括項目包括胡麻一貫化機械開發、大蒜生產流程系列機械研究、農膜鋪設及回收機械，以及各類省工及產後處理機械、栽培管理機具等，近年來更配合農電共生、淨零碳排、生產流程 IPM 等政策推動，電動農機具之試驗研發與應用、免耕農法機械試驗、紙膜插秧機械引進試用、輸日溫室 IPM 防蟲設備改善、溫室蟲害海博特監控系統開發、坡地無人機荔枝椿象技術等技術也蓬勃發展。

二、雲嘉南地區農作物產業發展

(一) 胡麻產業

胡麻即為俗稱的芝麻，為國內重要的油料作物之一，雖民國 50 年胡麻的種植面積曾高達 8,845 公頃，自 103 年推動調整耕作制度活化農地利用計畫並列入進口替代作物後，胡麻產業自此搭上雜糧國產化及休耕地轉作的趨勢，經歷臺灣食用油油品食安事件，國產胡麻市場漸漸被開啟，國產胡麻生產面積及產量明顯提升，至 105 年已達 2,508 公頃，其中以臺南市為主要產區，佔全臺 85%以上。目前在臺南、臺中、彰化、苗栗、屏東等各地區皆有農會或產銷班積極輔導推動種植胡麻面積。隨著市場的需求及政策推廣，種植面積漸增，但近年農村勞動力不足也使國產胡麻面積無法增加，農友反應非常希望導入機械化輔助作業，以紓緩農忙缺工，同時避免該特色產業沒落與凋零。

胡麻種植部分，以往胡麻種植機械應用上，小田區採用中耕機附掛播種機種植，大田區則採用機械式雜糧種植機。因為國產胡麻價高，為提升播種精確度及減少傳統機械式播種後須進行間苗作業，而真空播種機，如 MONOSEN 真空播種機進行胡麻播種試驗，原廠真空播種機具 8 具種植機構，其中 2 具為 1 組，可一次完成開溝及播種作業。依胡麻機械播種規格，可設置 2 行種植模式，種植行距 18、36 公分。經試驗後修改原廠加裝長型鎮壓輪，有效改善畦面因為國內溝深種植規格產生之畦面小土堆堆積問題，經實際測試，胡麻真空播種機可有效進行播種作業，播種效率比起手推式播種機作業，不但增加 4 倍作業效率，播種量比起機械式播種機每分地約 250-500 g，胡麻真空播種機每分地僅需 150 g 左右，減少 50%以上的種植成本，同時減少間苗作業人工，如搭配使用乘坐式割捆機進行收穫，建議使用種植行距 18 公分，以便割捆作業。

針對收穫作業需求，乘坐式胡麻割捆機及全餵入式收穫機分別有其限制及優缺點，對於受國內喜愛之傳統胡麻品種「台南 1 號」，因其為裂莢品種，常見雜糧使用之全餵入式收穫機雖收穫速度快速，但可適用收穫期短，過早無法收穫，太慢則損失率增加，在無收穫機械的困境下，以致胡麻面積無法增加。而乘坐式胡麻割捆機 BCS 280，並針對臺灣胡麻種植高度較高特性，提高胡麻捆束位置，修改捆束裝置為 2 點捆束。比起舊型更可以配合植株條件、田間狀況調整胡麻束的直徑，並能夠配合植株高度於 90 公分之胡麻植株。並改變以往國內條播及撒播模式，形成機械化割捆收穫模式，建立畦溝距 120 公分，以一畦 2 行方式播種模式，以增加乘坐式割捆機綁束機構流暢度，減少因植株折斷產生之失誤，同時亦可與胡麻真空播種機搭配。完成「乘坐式胡麻割捆機」，具自動切割及綑紮作業，每次作業 1 畦，機械進行集中、切割、綑紮、排出等作業，平均作業速度於約 0.75m/s 下可順利割捆胡麻，作業能力估算可達 0.15-0.2 公頃/小時，人機比可達 24 倍。

(二) 大蒜產業

大蒜俗稱蒜頭，為臺灣重要辛香料作物，因國產大蒜相較於進口大蒜有風味佳香氣濃郁的特點，國產大蒜於市場上具有重要競爭力，國內市場需求極大。而臺灣大蒜近 5 年平均種植面積約 4,454 公頃，產量 41,568 公噸，其中雲林縣佔 92%，主產區位於雲林縣，莿桐、元長、東勢、四湖等地皆有種植，並以大片黑為主要種植品種。但是以往大蒜生產體系除去可通用的整地、施肥、田間管理機械外，種植及收穫長期為仰賴人工，在農村勞動力下降的趨勢下，面臨需克服人口老化、雇工不易的困境，蒜農長期反應產業需要機械化作業導入。但是因應當地耕作習慣、水土氣候環境及前後期作田區輪作配置等因素，大蒜種植規格多樣化。據調查田間種植方式從雲林縣四湖地區之 1 畦 2 行至彰化縣伸港鄉、雲林縣莿桐鄉之 1 畦 8 行，畦溝距自 90 到 140 公分都有，種植規格多樣是產業機械化一大挑戰。大蒜以往種植時要求蒜種須為基部向下、芽尖向上進行種植作業，且種植深度以 5-7 公分為佳，尤其最忌諱上下顛倒進行種植。傳統農友整地做畦後，會使用模具進行大蒜種植位置標定，再以人工攜種並彎腰逐一進行種植，相當費工與辛勞。據調查種植作業每分地需 3 人工工作 1 日方可完成作業，農友亟需有高效率之機型可資應用。

大蒜種植機開發以作業速度快、作業能量大、蒜瓣種植樣態不能朝下種植及蒜

瓣損傷率低出芽率高為設計目標。大蒜種植機以夾取式取蒜種，可大幅提高單粒播種精確度，減少缺播率，改裝浮動式接地輪可調整種植深度，且可配合不同地區種植深度要求，一次完成開溝、種植、覆土及鎮壓，並可選用不同行數機型以配合當地適用之種植規格。對於傳統蒜瓣種植樣態需要基部向下、芽尖向上不能朝下種植觀念，經比較及人工種植田區，機械播種為防止蒜瓣倒插而以平躺方式種植，雖然相較於直立種植，平躺種植出芽時間較晚，但因機械播種深度一致、行間距固定，研究發現只要蒜瓣種植時間控制得當，平躺種植與直立種植收穫產量並無差異，且深度一致進行種植，更可與後續機械收穫相搭配，達到串聯機械整合作業配合。完成「附掛式大蒜種植機」，可一次完成開溝、種植、覆土及鎮壓作業，雖大蒜種植機性能與蒜瓣大小、作業速度及田間整地完整度有關係。但經田間反覆測驗後，附掛式大蒜種植機作業能力為每小時可種植 0.07-0.12 公頃，對照人工播種每人每天僅可種植 0.03-0.04 公頃，人機比約為 18 倍。目前機械化播種田區達 250 公頃以上，並預期能逐年上升。

大蒜是以採收地下球莖為收穫模式，傳統上除去少數人工採收外，大蒜收穫多使用機械輔助方式進行收穫作業，先以大蒜切根機切斷蒜頭根部，阻止蒜頭吸收水分，再以人工進行拔除、剪除根莖，同時進行收集作業，不但辛勞且作業速度慢，據調查作業每分地需 3 人工工作 1 日方可完成作業，在人力缺乏下，常面臨無人可收穫或人工團坐地起價等問題，且大蒜收穫期僅約 1 個月，如收穫期遇梅雨，將會更縮短可作業期間，加劇人工缺乏問題造成損失，農友亟需有高效率之機型可資應用。而國外雖有許多公司進行大蒜機種製造、設計，但除因臺灣栽培模式多樣的問題外，亦因臺灣習慣收穫較為成熟之大蒜，以致能夠適用於臺灣在地規格之機種卻近乎沒有。

大蒜挖掘式收穫機是以傳統挖掘式收穫機為基礎，增加抬升收集裝置，並研發 2 型收穫機型，包括二段型及一貫型機型，機型主要是以傳統挖掘式收穫機為基礎，增加抬升收集裝置，由鏟收篩土部及集裝部所構成，另外一貫型機型則整合莖葉切除部，設計一次作業 1 畦 3 行。機台利用鏟收篩土部挖掘犁之犁耕，使土壤鬆動並將大蒜挖掘出，大蒜連同黏附的土壤經柵狀輸送機構上提至鏟收篩土部中段，藉由該處之收穫輔助裝置將土壤破碎，由柵狀輸送機構進行篩土作業，再由集裝部抬升至集裝平台自由掉入袋中集裝，集裝滿袋後再由人工進行搬運。透過大蒜收集裝置、大蒜收穫輔助裝置專利設計，改善挖掘式機構帶土率過高問題，並設計切葉裝置，完成大蒜切葉、收穫及集裝各部件功能強化，有效完成大蒜收穫作業，提升收穫效率。完成「大蒜挖掘式收穫機」具有 3 行式及 4 行式機型，目前已有效降低收穫帶土率，於沙質土區域，其帶土率最低可於 5% 以下。作業效率每小時約可收穫 0.5 分地，人機比約為 6 倍。

傳統上大蒜為將蒜球分級後以零售方式於傳統市場或路邊販售，即大蒜不去根狀態下，以蒜球或蒜瓣於市面上販售，但隨近年都市型超市發展、農產品加值及行銷包裝意識抬頭，農會及小農漸漸有將蒜球進行有磨根後製成精品禮盒等相關產品販售。但國內對於乾燥後大蒜根部清除作業是以人工用剪刀剪除大蒜根部，然而乾燥後大蒜根部基座堅硬緊實，對手腕負擔非常大，長期下來恐產生手部肌肉傷害，

甚至有部分農民嘗試以手持電鑽加上磨砂球去除作法，除了磨砂球去除效果不佳外，在沒有防護及固定設備下作業相當危險，據調查人工僅約為 1 天 9 人可完成 144 公斤之作業量。候選人暨研究團隊因應農友安全作業需求研發完成大蒜磨根機。大蒜磨根機研發目標著重安全措施，保護作業時操作人員手部安全，同時設計成直觀操作，據試驗粗步估計每小時作業效率可達 16 kg 以上，大蒜磨根機可改善及輔助大蒜磨根作業。

(三) 蔬菜產業

國內目前田間種植小果番茄、鳳梨、瓜果等作物時，為降低田間管理成本，防止雜草與病蟲害，除了以殺草劑作為有效防治之手段外，以鋪設農膜作為控制田間環境為常見方式，尤其於大面積或友善管理種植區域。但農膜不論在鋪設及回收上皆會耗費大量人工成本，且因應使用目的不同，農膜規格多樣化亦是產業機械化一大挑戰。另外在蔬菜採收上也是急需解決的問題，臺灣甘藍年栽培面積在 8,000 公頃上下，目前均靠人工進行採收，每公頃採收人工費約 95,000 元，採收費用佔生產成本之 20%。人工採收不但生產成本居高不下，缺工更已嚴重影響產業發展。透過機械化才能真正解決產業缺工及成本所面臨的問題。甘藍在機械收穫方面，早期雖然有曳引機承載式收穫機的發展，但並未達到商品化階段。國內曾有臺灣大學與桃園場合作發展曳引機附掛式甘藍收穫機，唯並未實用化。於 85 年度在農委會與農林廳經費補助與輔導下，曾從日本引進履帶式甘藍收穫機。由於其售價過高與機械作業能力不成正比，造成收穫費用大增致無法推廣應用。人工採收效率低、成本高，影響產業發展。透過機械化採收以少量人力、高效率採收，能改善產業所面臨的缺工及高額人工成本的問題。

針對農膜鋪設部分，自民國 88 年開始，候選人針對國內田間設施栽培農膜鋪設進行改良，配合作業特性進一步改良設計 2 型畦面農膜鋪設機。完成之畦面農膜鋪設機主要為進行第二次碎土整地、築畦、農膜鋪設、覆土鎮壓一貫化作業。其中南改型築畦塑膠布鋪設機結合在曳引機迴轉犁後方，可適用曳引機馬 85hp 以上，以三點連接承載，適用農膜最大寬度 210 cm，透過結合迴轉犁，可配合第二次碎土整地、作畦、農膜鋪設、覆土鎮壓及噴灌管鋪放與基肥施用或消毒等完成一貫化作業，更有一次鋪設大畦面及 1 次 2 畦鋪設機型。另外南改型小型築畦塑膠布鋪設機以 11HP 中耕機為動力，可配合第二次碎土整地、作畦、農膜鋪設、覆土鎮壓等工作。南改型築畦塑膠布鋪設機及南改型小。

農膜回收目前以人工回收為現今常使用之方式，但其作業耗費人力時間，農友常為求簡便快速及節省人力，往往採用農膜棄置或直接絞碎與土壤混合於田間作法。雖外國外有開發相關農膜回收機，但國內農民使用農膜往往超過 3 個月，國外研發機型無法對應台灣長時間使用已造成材質劣化之農膜，以致目前作物生產鏈已有各式機械可供選用，惟農膜回收上尚無適合國內田間作業形式之農膜回收機，農膜回收耗費人工之作業之一，其中人工收農膜速度約為 8 小時/分地-人，且如鋪設農膜以農膜鋪設機作為鋪設方式的話，人工將更難以進行回收作業。因人力老化短缺，作物生產鏈需導入機械化，以減輕農民負擔、增加農民回收農膜之意願與保護田間環境，串聯農膜鋪設及回收作業。自民國 87 年起始研發農膜回收機械，但農

膜回收作業難度高，隨使用時間增加農膜延性減少，經拉扯很快就會斷裂，農膜回收機開發有其困難度。

目前甘藍採收機研發仍於雛型機作業型態規劃設計階段，雛型機主要機組包括：採收、輸送、作業平台、底盤。採收作業方式是以油壓馬達驅動切割鋸帶將甘藍自根莖處切割，輸送機組將採收後之菜球向上向後輸送至處理平台，處理平台上由作業人員進行初級選別、集裝。採收機透過各機組協作，將人工採收作業，轉換成機械採收作業，能降低作業辛勞度及人力需求。目前已完成採收雛型機機組之組裝，經初步測試，機組間因油壓迴路壓力匹配不均，導致部分機組動力不足。透過增加油壓源及對負荷差異較大迴路進行區隔已獲得改善。為增加輸送效能，於第一段輸送機增設上方輔助輸送機。為改善機械性損傷，於第二段輸送機組件增設保護矽膠片。本計畫已完成雛型機之組裝，後續將持續試驗、改善以符合實際作業需求進而推廣產業使用。

(四) 果樹產業

果樹為國內主要農業作物類型之一，所占種類繁多，如龍眼、芒果、柚子等，雖種類繁多，但果樹栽培作業皆需要進行修剪、嫁接、疏果、套袋及採收等作業，其中於灌木及喬木種類果樹，需多作業皆需要進行攀爬，傳統上農友須仰賴徒手攀爬或以長條椅、板凳或梯子等輔助墊高達成果樹高部位的工作，但這樣的作業方法除了長時間工作之後，作業時爬高爬低耗費時間體力，備極辛苦外，還容易發生摔落危險，且長時間於太陽下進行作業很容易產生疲勞及體溫升高等生理上的變化，而造成熱傷害或意外傷害率的升高。且部分果樹，如柚子文旦，採收期與節慶有所關聯，以文旦為例，文旦產期約在 9-10 月，為確保市場收益，文旦需於中秋節前採收完畢，但每年產期與節日間隔時間不定，而如產期與節日期間甚短，以傳統爬高人力進行收穫，耗時長，可能有延誤採收，以致出貨不及的狀況。

鑑於此需求，電動履帶式高空作業車相應開發，足供農友整理植株、登高採收等機械化作業應用，電動履帶式高空作業車以作業安全、節能、高效為目標，利用電控馬達驅動控制履帶，提高移動靈活性及底盤穩定性，有效降低舉升作業台晃動感，容易控制無需切換排檔，可在負載 120 公斤、舉生高度 2.8 公尺且傾斜角度 20° 以內保持其姿態安全，在充飽電力的情況下可連續行走 4 小時以上 (不包含停歇時間)，估計可以提高 50% 以上採收效率，但果園地面常有排水淺渠道可能造成機台不穩，藉由完善安全設計，完成安全姿態感測器安全警示設計，提高電動履帶車實際操作的安全，機台也符合近來世界各國矚目且積極推動淨零碳排的發展方向。

(五) 溫室產業技術

臺灣氣候環境多變化，露地栽培每每因突如其來的強風暴雨而管理不易，甚至一夕之間造成農作物毀損而血本無歸；為了要穩定產量、提高品質，並營造出最適合作物生長的環境，愈來愈多農友採用設施溫網室栽培，其中尤以蔬菜、花卉等園藝作物為最大宗。但以設施溫網室栽培往往面臨設施高溫、蟲害困擾等，尤其在溫室連續栽培作業下，蟲害不易杜絕，內藏蟲害往往形成病害傳播媒介，造成作物產量下降，在新型智慧監控技術發展下，設施栽培控制越來越精良，情中針對蟲害監測則發展出智慧型作物蟲害影像監測系統，運用 AI 影像辨識與嵌入式系統之高速

運算與通訊能力，並整合農業專家知識，以有效自動辨識害蟲種類與數量，長期監測作物的蟲害情形以及環境資訊，提供農民病蟲害防治與作物栽培管理的數位服務。此具有即時性和精準性的監測系統可以應用於多種溫網室及戶外作物的栽培管理作業，進而達成農藥減量、減少環境衝擊、農業病蟲害降低、作物栽培管理省工等多元效益之願景。建立智慧化病蟲害整合管理的創新模式，顯著提升農業生產效能，促進農業邁向淨零碳排與永續發展。

智慧型作物病蟲害監測與預警系統設計於研發階段即考量農業應用需求與限制，具備容易安裝與操作、低設置成本、耐受惡劣環境等優點。雛型機經過十餘個不同作物生產場域超過 5 年的長期驗證，並廣徵農民意見，進行不斷的改良。並行 IPM 之管理方法同時輔以天敵防治，與慣行作法方式相比確實可以減少化學藥劑用量，亦可降低害蟲密度。為使研發成果落實於產業及農民應用。

(六) 農產品加工

芒果為國內重要水果，主要栽種地區為臺南、高雄、屏東等地，國內栽培品種眾多，在臺灣 2001 年加入 WTO 後，芒果成為臺灣旗艦產品之一，為重點輔導的作物，目前臺灣每年外銷日本的冷凍芒果丁產量約 100 公噸以上，但繁鎖的芒果削皮及切片作業，為加工製程產量提升的重大瓶頸，導致芒果乾的銷售通路受限，果農長期期盼能夠突破生產瓶頸，於 110 年完成批次式芒果削皮機開發，不同於其他削皮機械，批次式芒果削皮機針對芒果削皮生產時較軟熟表皮特性研發，特殊專利動力旋轉削皮刀，可調整壓力貼服於芒果表皮，在不擠壓下完成削皮作業，達到自動夾持、削皮及退出流程。

批次式芒果削皮機具有 4 座獨立削皮模組，可批次自動夾取進料插立果粒並削皮，目前此機每分鐘可削皮 12-16 顆芒果，可節省人力 5-7 人。機台亦可針對量產需求，擴充成 6 座獨立削皮模組，效能可增加約 1.5 倍，可降低臺灣芒果乾加工產業人力成本並可針對業者需求進行批次處理量擴充。機台可於人工置放四顆芒果後，全自動同時進行削皮作業，可省工 20-30 倍。

另外臺灣青花菜亦為國人常食用之主要蔬菜之一，全年都有生產，但以 11 至 4 月為盛產期，產量前 3 大的產區，分別是雲林縣、嘉義縣、高雄市，雲林縣約生產 1 萬 4 千公噸的青花菜，嘉義縣產量約為 1 萬 3 千噸，其中嘉義縣六腳鄉則是全台灣青花菜栽培面積最大的鄉鎮，約有 450-500 公頃，幾乎佔了整個嘉義縣青花菜種植區域的 81%。青花菜適合冬季大規模契作栽種，除供應當季生鮮蔬菜需求外，亦可分切成小花後急速冷凍保存，將冬季盛產期青花菜分切成小花後急速冷凍，以供出口外銷至美、日、港、星及熱帶國家及國內於夏季時出貨販售或夏季時出貨替代進口產品。但青花菜小花分切作業為高度人力密集，也是限制青花菜產業發展的最大瓶頸。

連續輸送式青花菜分切機著重以氣壓缸電控方式進行切莖、去梗、切小花等步驟，搭配關鍵機構設計來達成複雜功能。此外特別設計的碰撞分離機制，能直接定點分離，並且簡化功能性機構體積及複雜性。目前機台每分鐘可分切 30 顆以上，每機台可省工約 6-7 人，可紓緩冬季盛產時廠商人力缺工問題，亦可增加青花菜契作種植誘因。

三、結果與討論

雖近年產業機械化加足腳步發展前進，但目前推廣下，仍有其侷限性。多數機械化仍局限於點的技術突破，缺乏整體配套措施，對於農友而言，或許機械化仍存在損失率及價格問題。其實對於規格不一農產品，發展機械及會有相應的處理流程，農友對於新流程與既有習慣操作相衝突可能性高，甚至是單一台機械對於不同農友，可能都有不同操作習慣，這都考能造成產業機械阻礙。如胡麻產業推廣割捆機操作會限制目標胡麻高度，農友需要為機械收穫進行胡麻停心等操作，而大蒜種植機械化適逢人工短缺再加上證明蒜頭平躺種植可與慣行直立種植無差異，農友才逐漸接受機械化種植，另外大蒜產業雖解決種植部分，但於收穫部分尚面臨機械化收穫需要經過收穫後處理再行乾燥之流程，以致推廣遲滯，另外如何串接機械化收穫與乾燥尚有技術及接受度考驗。

四、結論

雲嘉南地區的農業機械發展前景可期。對於雲嘉南地區省工農機具研發應用，隨著5G、人工智慧、物聯網等技術的發展，農業機械將更加智能化、自動化。雖然對於農業全程自動化操作還有農業規格及技術問題，但隨著技術的進步和政府政策的支持，未來農業機械化將深入各產業生產環節，補足未完成部分，完成一貫化生產作業，雖大型機械化適用於大規模農場，藉由代耕、農機互享等方式使更多小型農戶能夠減輕勞動，提升整體生產力和競爭力。進一步的智慧化與電動化將成為農業機械發展的主要方向，來實現環保、可持續的農業發展目標。

參考文獻

1. 王志瑋、鍾瑞永 (2023)。電動農膜捲收裝置之張力感測設計。出自〝2023 年農業機械論文發表會論文集〞。宜蘭：中華農業機械學會。
2. 李健、張汶肇 (2020)。建立電動履帶式高空作業車安全姿態模型。臺南區農業改良場研究彙報 75: 88-102。
3. 吳雅芳、陳昇寬、黃涵靈、鍾瑞永、楊藹華、游添榮、鄭安秀 (2018)。胡麻栽培管理技術。行政院農業委員會臺南區農業改良場。台南。
4. 胡凱，王吉奎 ，李斌，蔣蓓，丁双双，李天文 (2013)。棉稈粉碎還田與殘膜回收聯合作業機研制與試驗。農業工程學報 29(19):24-32。
5. 盧澤民，蹦杰，饒勇 (2011)。分段式大蒜收穫機械試驗研究。農業裝備與車輛工程 234:28-31
6. 横井正治與鳴海勇蔵 (1975)。ニンニクの強制乾燥について。東北農業研究 17:250-251。
7. Görücü, S., Cavallo, E., & Murphy, D. (2014) Perceptions of tilt angles of an agricultural tractor”, Journal of Agromedicine, 19(1): 5-14, 2014.

Application and prospects of agricultural machinery in Yunlin, Chiayi and Tainan

Chung Jui-Yung and Wang Jhi-wei

Tainan District Agricultural Research and Extension Station

ABSTRACT

The miscellaneous grains and horticulture industries are booming in Yunlin, Chiayi, and Tainan regions. In response to problems such as the shortage of agricultural workers and the aging of the agricultural population, relevant provincial industrial and farm machinery and automation technology should develop with modernization. Various crops require consistent operating machinery to assist. Similarly, greenhouse vegetables also have facilities. Application demand. Due to the promotion of R&D and application, the pace of machinery development in Yunjia South has recently intensified. With the optimization, research, and development of mechanization, flax, garlic, fruit trees, and other machinery have been successfully developed. However, farmers' expectations for machinery have also increased correspondingly, and they will need to invest more in the future. With more energy and in line with policy directions, we can achieve the goal of sustainable agriculture and land production.

Keywords: Yunlin-Chiayi-Tainan regions, Agricultural labor shortage, Agricultural Machinery and Automation

應用 AI 動監測系統進行粉蝨防治預測及預警的可行性評估

黃莉欣 [1,*]、李佳穎 [2]、楊孟賢 [3]、林易賢 [4]、陳麗芳 [5]

[1,2,3,4,5] 農業部農業藥物試驗所農藥應用組研究員、試驗分析員、試驗分析員、儲備植醫、技工

*E-mail: lhhuang@acri.gov.tw

摘要

於 3 個不同作物場域設置商品化害蟲自動辨識監測系統 (Pest Detection System, PDS)，每場域各設置 2 組 PDS，比較 AI 計數與人工計數粉蝨成蟲數量之差異，以一期作之平均絕對百分比誤差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 評估其準確度，3 個場域之 MAPE 為 18-35%，為可接受的誤差範圍。PDS 與一般懸掛黏紙所捕獲粉蝨成蟲數之相關性分析結果顯示，3 個場域之相關係數為 0.85-0.994，顯示 PDS 監測粉蝨成蟲數與田間懸掛黏紙具有高度正相關，代表 PDS 上粉蝨數量確實可反映田間蟲數的相對密度，亦即以 AI 計算粉蝨的蟲數具代表性。PDS 的粉蝨成蟲數量屬相對密度，仍需連結絕對密度才能利用 PDS 監測值作為預測或預警，經相關性分析結果顯示 PDS 上粉蝨成蟲數可解釋葉片上若蟲數量的能力約 58.5% ($r = 0.765$)。然而，葉片上粉蝨成蟲數可解釋葉片上若蟲數量的能力為 68.5%，稍高於 PDS 之推估值，可能與蒐集資料筆數有關，其中 PDS 每週 2 筆 (2 臺)，葉片則為 30 筆。根據葉片上粉蝨成蟲數與若蟲數之關係式，初步透過族群增長模式以 7 天為間隔推估當日成蟲數於 7 天後葉片上可能的若蟲數量，依此針對番茄上粉蝨蟲量訂定防治基準參考值，從作物生長期及防治關鍵時機，建議防治時機分為二期，定植後至開花初期，建議每葉粉蝨成蟲數為 2-4 隻，開花期至採收初期為 4-6 隻/葉，發佈防治預警。

關鍵詞：粉蝨、人工智慧、監測、防治基準

數位輔助乳牛體態評分辨識技術應用

李佳馨 [1,*]、王科翔 [2]、丁文宏 [3]、黃妃平 [4]、王思涵 [5]、蕭振文 [6]

[1,5] 農業部畜產試驗所北區分所助理研究員、副研究員兼系主任
[2,3,4] 財團法人工業研究院感測中心工程師、副管理師
[6] 農業部畜產試驗所北區分所分所長

[*] E-mail: jxlee@tlri.gov.tw

摘要

本系統與國內工研院合作，開發臺灣第一臺乳牛 3D 體態健康監測系統，以 3D 影像視覺量測技術針對乳牛體態進行辨識量測，建構乳牛體態/體型特徵資訊，將量測值結合 AI 分類判斷，根據所得的特徵資訊進行分類，藉由乳牛大數據資料庫的累積，結合專家經驗，進一步建立臺灣乳牛 3D 體態評分 (Body condition score, BCS) 標準。111 年以 2D 影像進行體態評分系統之開發，但因拍攝影像清晰度易因畜舍光線不足、水氣影像，影像呈現模糊，且 2D 影像辨識會因牛隻的花色和牛體糞便污染而干擾；自 112 年起改為 3D 影像攝影機，將牛隻遠近距離轉變成七彩色階，改善上述問題。藉由數位輔助乳牛體態辨識系統建置於每日牛隻擠乳走道上，一天兩次，在不影響牛隻行為下，進行體態健康監測，取代耗時多工的目視巡檢作業，使酪農聚焦於有異常風險的牛隻，及早藉由 BCS 來調整牛隻營養配方，有助於避免產犢困難、產後損失和其他健康問題。

關鍵詞：乳牛、3D 影像、體態評分、影像辨識

應用農噴無人機防治鳳梨粉介殼蟲之成效評估

楊尚唯[1,*]、曾偉柚[2]、陳品錞[3]、黃郁容[3]、黃莉欣[4]

[1,4] 農業部農業藥物試驗所資材研發組助理研究員、副研究員

[2,3] 農業部農業藥物試驗所資材研發組試驗分析員

[5] 農業部農業藥物試驗所農藥應用組研究員

[*] E-mail: sweiy@acri.gov.tw

摘要

鳳梨近年因外銷日本遭檢出檢疫害蟲，包含粉介殼蟲及鱗翅目害蟲，因檢疫作為，造成鳳梨果品須進行燻蒸處理，降低其儲架壽命，也增加國人外銷鳳梨時的檢疫成本，重創國內鳳梨產業外銷量。然粉介殼蟲在國內鳳梨栽培亦為重要害蟲，該害蟲易棲息在果實底部難以防治外，其中鳳梨嫡粉介殼蟲亦可作為昆蟲媒介傳播鳳梨萎凋病毒。而國內鳳梨最大產區為屏東，皆大面積栽培，因其密植且生長茂密、葉片厚質、且有鋸齒緣，人工施藥相對費工費時，極度需要導入農噴無人機的應用。為降低輸日鳳梨因檢出害蟲導致果品需進行不同程度的燻蒸比例，故本研究選用登記在鳳梨上防治粉介殼蟲之藥劑一大利松及馬拉松，以農噴無人機作為施藥器械，評估其控制粉介殼蟲之效果。在用水量 80 L/ha 下，以飛行高度距鳳梨上方 1.5 m 之距離，進行藥劑噴灑，結果顯示大利松及馬拉松二種藥劑施藥 2 次後第 14 天及第 21 天，其果實粉介殼蟲數皆較對照組顯著低，因此推論應用農噴無人機仍可達到防治效果。依此驗證試驗結果，建立農噴無人機在鳳梨上之施藥參數與模式，提供未來空中施作農藥代噴人員之參考，達到智慧農業之效益。

關鍵詞：鳳梨、粉介殼蟲、農噴無人機、精準施藥模式、智慧農業

國產清糞機器人設計簡介

廖曉涵[1,*]、蔡建安[2]、吳崧毅[3]、王思涵[4]

[1,4] 農業部畜產試驗所北區分所助理研究員、副研究員兼系主任
[2,3] 財團法人工業技術研究院中分院副工程師

[*] E-mail: hhliao@tlri.gov.tw

摘要

我國泌乳牛場域清潔方式中，以鏟裝機清潔的建置成本最低；以進口吸糞機器人的維修養護成本與對場地的要求度最高，儘管吸糞機器人無須破壞地面建置軌道另可依各牧場場地地形因地制宜，還可依場主需求排定出勤時間與路線，但高昂的建置成本與維護費仍讓人卻步，因此開法符合我國場域需求之平價清糞機器人。其底部備有輪式底盤,前端包含萬向轉輪、橡膠刮板、灑水模組及轉刷模組等設計，可有效將溝紋地墊上糞便清除；中段備有集糞模組且於主動力模組上方設有儲糞桶，可有效平衡重心。主動力模組採直流無刷馬達，可提供高效率低能耗之傳動動力；儲能模組採用鋰鐵電池系統,其特性為穩定性高、耐溫高且循環壽命長，適合應用於農業與畜牧產業上。整機長、寬及高尺寸分別為 1,500 mm、1,200 mm 及 600 mm，總重量為 425 kg，儲糞桶容量為 150 L，移動速度為 0.2-5 km/h。此雛型機尚在優化中，期望未來能解決畜牧業人力不足和降低人力成本及廢水處理費用，並以樸實的建置成本與養護費供酪農使用。

關鍵詞：清糞機器人、乳牛、電動化

進口吸糞機器人單純吸糞模式之清潔度調查

廖曉涵 [1,*]、陳苓祐 [2]、王思涵 [3]、涂柏安 [4]

[1,2] 農業部畜產試驗所北區分所助理研究員
[3,4] 農業部畜產試驗所北區分所副研究員兼系主任、副研究員兼系主任

[*] E-mail: hhliao@tlri.gov.tw

摘要

為了解進口 Lely Discovery 120 Collector 吸糞機器人之清潔力，因此對吸糞機器人單純使用吸糞模式做清潔力評估。將試驗牛舍劃分為諸多方格，並於清潔前、清潔完當下與清潔後第 1 及 2 小時進行表面汙染程度及糞便覆蓋率評分，各項目細分為 4 種程度。結果顯示，吸糞機器人在清潔後時間的變化對表面汙染程度有顯著影響。上午時段之 Level 1 佔比隨時間顯著下降，從清潔前的 47.42% 降至清潔後 2 小時的 2.99%。Level 2 在清潔後 0 小時達到最高 72.53%，隨時間下降至 38.89%。下午測試也顯示 Level 2 佔比從 65.52% 下降至 33.09%，Level 4 隨時間逐漸增加；糞便覆蓋率方面，上午時段之 Level 1 在清潔前佔比最高 (35.67%)，隨著時間推移，清潔後 1 小時降至 2.89%。Level 2 在清潔後 2 小時達最低 (15.73%)，而 Level 3 在清潔後 1 小時佔比最高 (26.82%)。下午測試顯示，Level 4 的覆蓋率從清潔前的 56.68% 顯著上升至 64.54%，顯示隨時間推移，覆蓋率逐步增加。整體而言，吸糞機器人於表面汙染程度及糞便覆蓋率之影響均隨清潔後時間增加而顯著變化。本研究結果僅顯示吸糞機器人每日運行 2 次之清潔結果，後續將提高運行次數值，期能找出最佳運行模式以維護地面清潔力。

關鍵詞：乳牛畜舍、吸糞機器人、清潔度、乳牛

乳牛場導入機器人擠乳機案例分享

陳苓祐 [1,*]、廖曉涵 [2]、王思涵 [3]、蕭振文 [4]

[1,2] 農業部畜產試驗所北區分所助理研究員
[3] 農業部畜產試驗所北區分所副研究員兼系主任
[4] 農業部畜產試驗所北區分所分所長

[*] E-mail: lychen@tlri.gov.tw

摘要

自 2019 年起，我國逐步導入自動擠乳系統，目前已有 25 台應用於乳牛場。這些系統不僅替代傳統擠乳設備，還提升擠乳效率，並改變牧場管理模式。本次以案例探討我國自動擠乳系統的應用現況。A 牧場為中小型牧場的應用代表，約 96 頭泌乳牛使用 2 台擠乳機器人。所有泌乳牛產後即移入擠乳機器人區，僅乾乳或淘汰牛會移出。牧場採用部分混合日糧 (PMR)，並按胎次與泌乳量分配精料，產後 7 日內補充甘油。清洗策略為每日 3 次大清洗和多次小清洗，平均產乳量 37.2 公斤/日，總生菌數 7.6 千/mL，體細胞數 189.4 千/mL，擠乳頻率 3.1 次/日。B 牧場展示了機器人擠乳機於大規模運行中的高效管理。牧場擁有 220 頭泌乳牛，使用 4 台擠乳機器人。健康牛產後 2 至 3 周移入擠乳機器人區，並採用高產日糧和分時投料 (早、中、晚三次) 提升泌乳效率。清洗策略同樣為每日 3 次大清洗與多次小清洗，並針對乳頭與乳房血乳值超標牛隻調整排奶頻率，以穩定乳品質，平均產乳量 31.0 公斤/日，總生菌數 17.6 千/mL，體細胞數 198.5 千/mL，擠乳頻率 2.7 次/日。自動擠乳系統能提升擠乳效率和乳品質，但需搭配良好的操作、飼養模式及數據管理策略。隨著更多牧場導入，將進一步探討不同管理模式對乳品生產的影響，為我國乳業發展提供參考。

關鍵詞：機器人擠乳機、乳牛場、飼養管理

臺灣葡萄露菌病預警系統雛型開發與初步成果

許晴情 [1,*]、何湧峰 [2]

[1,2] 農業部臺中區農業改良場作物環境科助理研究員、研究助理

[*] E-mail: helianthus02@gmail.com

摘要

臺灣葡萄栽培集中在中部地區，包括彰化、南投和臺中，為重要經濟作物之一，栽培面積約 2,100 公頃，年產量接近 2.6 萬公噸，以巨峰葡萄為主的鮮食品種因糖度高、酸度低而深受市場歡迎。然而，葡萄露菌病是臺灣葡萄栽培的重要病害，爆發後難以快速控制，對產量與品質影響甚鉅。農民目前主要依賴化學藥物防治，但氣候變遷導致的環境不確定性，增加了病害爆發的風險。為解決此問題，本研究利用人工智慧技術結合隨機森林模型，建立臺灣葡萄露菌病的預警系統。通過數據清洗與特徵工程，處理氣溫、濕度等多維資料，並加入植物生長期與孢囊發芽等關鍵特徵，大幅提升預測精度。該隨機森林模型準確率超過 95%，可有效預測未來十天內的露菌病爆發可能性。研究成果整合於 Flask 框架構建的網頁平台上，提供即時風險展示與數據視覺化，並支援手機操作，方便農戶隨時查詢與管理。未來計畫擴大數據覆蓋範圍、引入深度學習技術並開發獨立應用，進一步提升系統效能並拓展智慧農業的應用場景。

關鍵詞：人工智慧 (AI)、隨機森林 (Random Forest)、葡萄露菌病 (Grape Downy Mildew)、病害預測 (Disease Prediction)、數據清洗 (Data Cleaning)、特徵工程 (Feature Engineering)

你餵的是「資料」還是「毒藥」？
不可不知的資料源頭管理技巧！

王柏元

財團法人資訊工業策進會科法所創意智財中心

E-mail: poyuanwang@iii.org.tw

摘要

為系統性、階段性解決資料流通利用相關資料管理風險，農業部於 113 年 3 月發布《智慧農業科技研發資料源頭查檢說明手冊》，範圍涵蓋智慧農業科技研發第一、二階段資料管理工具，並於同年設計智慧農業科技研發第三階段資料管理工具，建立三階段資料流通利用之資料管理工具，引導研發團隊評估及強化針對不同智慧農業科技研發資料類型、情境及協力對象之資料流通利用管理，漸進推動全流程資料潔淨合規，以降低研發團隊與資料提供者、合作對象及資料需求者間的資料流通利用相關資料管理風險。

關鍵詞：資料潔淨、資料合規、資料管理工具

智慧型無線灌溉控制系統開發與應用

吳有恒[1,*]、李汪盛[2]

[1,2] 農業部桃園區農業改良場副研究員、研究員

[*] E-mail: yhwu@tydais.gov.tw

摘要

本研究開發一種基於 LoRaWAN 技術的無線灌溉控制系統，並於溫室槽耕牛番茄栽培系統中進行測試。在六個月的試驗期間，此系統可穩定地將介質體積含水率 (Volumetric Water Content) 控制在 30-43.5%之間。本系統由控制主機、泵、過濾器、電磁閥及三合一無線土壤感測器組成，可提供手動、排程、自動感測及遠端控制等四種控制模式，使用者可根據作栽培需求選擇合適的模式。栽培過程感測所得的數據透過 LoRaWAN 傳輸至雲端，管理者可遠程查看系統運作狀況、調整參數及控制灌溉。試驗結果顯示，該系統可有效解決傳統灌溉方法中因定時操作導致的水分過量或不足問題，顯著提高了灌溉的精準性。

關鍵詞：土壤含水率、灌溉自動化、精準灌溉、智慧農業、LoRaWAN

蔬菜種苗產銷管理系統建置與推廣

蔡瑜卿[1,*]、張倚瓏[2]、張定霖[3]

[1,2,3] 農業部種苗改良繁殖場副研究員、助理研究員、場長

[*] E-mail: fish@tss.gov.tw

摘要

蔬菜育苗業為我國蔬菜生產鏈中重要的一環，蔬菜種類繁多，種苗生育時程不一，易受氣候環境影響，且同一家育苗場的育苗溫室常分散設置不同地點，因此蔬菜育苗業產銷作業管理複雜度高。為提升蔬菜育苗場種苗生產與供苗作業效能，本場建置蔬菜種苗產銷管理系統雲端公用系統，輔導蔬菜專業育苗場運用現代資通訊技術，依據客戶訂單或計畫性生產進行系統化播種、育苗、出貨排程，數位化管理日常育苗產銷作業。本產銷管理系統包含電腦版及 APP 版，電腦版應用於辦公室接單、收款作業，行動 APP 版適用於溫室育苗及出貨現場管理。依據使用者回饋意見，本場持續優化蔬菜種苗產銷管理系統功能，並定期舉辦系統操作講習與訪視輔導，目前蔬菜育苗場使用本系統之涵蓋率約 6%。

關鍵詞：植物種苗產業、蔬菜育苗場、產銷管理系統

蔬菜育苗生長預測模型開發及其應用

張倚瓏[1,*]、薛佑光[2]、林汶鑫[3]、蔡瑜卿[4]、張定霖[5]

[1,2,4,5] 農業部種苗改良繁殖場助理研究員、副研究員(退休)、副研究員、場長
[3] 國立屏東科技大學農園生產系教授

[*] E-mail: niceyilung@tss.gov.tw

摘要

種苗產業面臨農業人力短缺、經驗傳承困難等，智慧農業種苗領航產業團隊透過開發蔬菜育苗智慧化生產管理系統，及建立各項重要蔬菜作物之育苗生理調查資料，將育苗生理參數結合育苗場環境數據，演算育苗生長預測模型，並透過模組整合的方式加入蔬菜育苗智慧化生產管理系統，使育苗業者可以獲得育苗天數的預測功能，能夠直接提醒業者何時該盤點，何時可以規劃出貨，提升育苗場整體接單出貨效能。以甘藍為例，於 107 至 108 年間共完成 9 批次的育苗調查，每批次建立甘藍苗株高、葉片數等計至少 2,500 筆資料，透過累積超過萬筆的生長數據與蒐集當下的環境數據互相對應，預測可達出貨標準之預期出貨日達 9 成以上的精準度。

關鍵詞：種苗產業、蔬菜育苗、甘藍

菇舍智慧型 LED 燈減蟲模組

張淑貞 [1,*]、許北辰 [2]、江明耀 [3]、申屠萱 [4]、黃榮揚 [5]、洪文濱 [6]、簡得育 [7]

[1,2] 農業部農業試驗所應用動物組副研究員
[3,4] 農業部農業試驗所應用動物組助理研究員
[5] 農業部農業試驗所植物病理組助理研究員
[6,7] 財團法人工業技術研究院工程師、副工程師

[*] E-mail: scchang@tari.gov.tw

摘要

臺灣菇類年產值已逾 122 億台幣，佔整體蔬菜產值的 16%，因栽培菇的種類與管理方式不同，病蟲害造成的損失約達 5-30%。以蕈蚋危害最嚴重的洋菇而言，嚴重時損失甚至可達 100%。蕈蚋除了直接取食菇體、菌絲造成產量降低、品質下降，亦會傳播菇蟎、病害，間接危害菇類生產。現有菇類害蟲防治方法有農藥防治、生物防治、粘蟲紙及滅蟲燈，因應農產品安全意識抬頭，非農藥防治愈受青睞。本模組包含菇類主要害蟲偏好的特定光譜波長 LED 燈、相應小型害蟲的防逆逃集蟲網、重量感測器及側置式風扇吸蟲器，可誘集並避免害蟲逃逸，感知集蟲網內的害蟲重量、溫溼度，通知菇舍管理人員，遠端控制、進行菇舍管理，目前已獲得 2 項中華民國新型專利。本 LED 燈滅蟲模組雛型，在洋菇菇舍中與其他 3 種市售滅蟲燈相比，皆可捕獲最多蟲數，佔所有捕獲蟲數的 40.9%，是其他 3 種滅蟲燈的 1.7-3.5 倍。且使用的波長非 UV 光譜波段，對人員與環境更為友善。配合菇類栽培模式與菇舍環境減蟲，預期將可減少害蟲為害，節省能源 15%、減少人力、提升菇類產量與品質。

關鍵詞：蕈蚋、LED 燈、防逆逃集蟲網、重量感測器、側置式風扇

排程作業噴灑車之開發與應用

許溍銘[1,*]、林聿至[2]

[1,2] 國立中山大學機械與機電工程學系研究生、教授

[*] E-mail: tobyhsu73@gmail.com

摘要

台灣農業正面臨勞動力短缺的挑戰，其中設施內的農藥噴灑工作不僅耗時費工，更有接觸農藥的風險。因此本研究針對此問題開發了一台電動履帶式自走噴灑車，噴灑車能自動沿磁條行走執行噴灑作業，並搭載物聯網 (IoT) 設備，能透過遠端網頁設定日期、時間排程啟動，同時即時監測環境數據 (如溫濕度與光照度)，並將數據上傳至網頁平台，實現智慧化農業管理。

本噴灑車採用 48 伏 50 安培小時的鋰電池供電，搭載 1,500 瓦馬達，並配備車體左右各兩個伸縮式噴桿，可調整高度與角度，最大噴灑高度達 3 公尺，靈活適用於不同作物的種植情況，以滿足多樣化的作業需求。車體寬度僅 70 公分，與一般獨輪式農用搬運車相當，能進入大部分溫網室進行作業，特別適合木瓜、百香果、小果番茄及苦瓜等作物園區。此外，車上搭載一個 150 公升的水箱，提供充足容量以支援長時間噴灑作業。為提升多功能性，噴灑車的水箱與幫浦噴桿均採用模組化快拆設計。當不進行噴藥作業時，水箱和噴灑設備可快速拆卸，車體即可轉換為搬運車使用。搬運模式下，車輛最大承重可達 300 公斤，車斗亦能容納兩個搬運籃，提高其實用性與靈活性，滿足多樣化農業作業需求。透過全自動化的技術，農民只需規劃噴藥時間，就能由自走噴灑車自動完成噴灑工作，不必再花費過多人力於噴灑作業，也減少了接觸農藥的風險。

關鍵詞：自動化噴灑車、自走車、物聯網 (IoT)、溫網室作物、電動農機

Developing a Dynamic Plant Height Model to Manage Rice Lodging Risk for Decision-Making in Paddy System

吳東鴻[1,*]、吳佩真[2]、賴明信[3]、楊靜瑩[4]

[1,2,3] 農業部農業試驗所作物組副研究員、約用人員、研究員
[4] 國立中興大學農藝系特聘教授

* E-mail: dhwu@tari.gov.tw

ABSTRACT

Rice, a critical global food crop, is susceptible to lodging, especially during the late growth stages due to panicle initiation. This lodging leads to decreased plant height and reduced crop yield. Over a four-year period, we examined the impact of two water irrigation methods and four fertilizer application frequencies on lodging under varying cultivation conditions. We collected plant height data and supplemented these with aerial images to analyze the effects of nitrogen fertilizer on lodging. The images and variance analysis indicated that fields with high nitrogen levels were more prone to lodging. Specifically, plant height at the booting stage showed a strong positive correlation with lodging occurrence ($r = 0.67$) and a negative correlation with yield ($r = -0.46$). Notably, when plant height exceeded 70.7 cm with continued nitrogen application, the growth curve predicted increased lodging risk. Additionally, our results indicated that increased rainfall and strong gusts in the later stages of growth further elevated this risk. These findings provide predictive insights useful for intelligent production systems and lodging risk management. They also serve as a foundation for developing cultivation management strategies and response policies tailored to each growth phase.

Keywords: Rice, nitrogen fertilizer, plant height, lodging, taste quality, UAV

國產自動乳牛餵飼 TMR 車的設計與應用—提升本土畜牧機械供應鏈

陳怡璇 [1,*]、涂柏安 [2]、施意敏 [3]

[1,2] 農業部畜產試驗所北區分所助理研究員、副研究員兼系主任
[3] 農業部畜產試驗所技術服組研究員

[*] E-mail: hsuan@mail.tlri.gov.tw

摘要

目前全球有多家廠牌如 Trioliet、GEA、Hetwin 等提供各類自動餵飼設備，從自動推料機、TMR 餵飼系統到精料供應技術，相關產品提供自動混料、餵飼等功能，並可依牛群規模和營養需求進行客製化調整，符合牧場多樣化需求。相較之下，國內雖已引進部分國際產品，但購入與保養維護成本高昂。為提升本土產業競爭力，本研究引入工研院無人車技術，開發具有自動混料和推料功能的國產自動乳牛餵飼 TMR 車，並探討其成本效益。比對國內牧場的測試結果顯示，導入國際自動餵飼設備能提升泌乳量、降低飼料浪費，並減少 5-12 小時的每日人力需求。300 頭乳牛以下之中小型牧場，其導入成本回收期約 3-4 年，而大型牧場 (300 頭乳牛以上) 的設備折舊效益更可達 1.5 倍以上。相較國際品牌，國產設備價格若控制在 300-500 萬元，效能不低於國際標準，可克服安裝場域之限制，並使用國內常備之原料零件，則在裝設及維修上花費之時間可大幅減短，亦可作為差異化優勢之一，將能有效增強市場競爭力。

關鍵詞：國產化設備 (Localization of Equipment)、乳牛管理 (Dairy Cattle Management)、成本效益分析 (Cost-Benefit Analysis)、自動餵飼系統 (Automated Feeding System)、農業機械 (Agricultural Machinery)

小胡瓜生理特徵分析應用技術

何佳勳[1,*]、蕭巧玲[2]、李美冠[3]、林瑋庭[4]

[1,2] 農業部農業試驗所作物組助理研究員、副研究員

[3,4] 農業部農業試驗所作物組研究助理

[*] E-mail: chia0423@tari.gov.tw

摘要

本試驗以南投埔里的福興農場及臺中大里的武士農場為試驗場域，探討小胡瓜‘CU87’與‘CU223’品種在不同設施環境下的生育特性與環境因子間的關聯性。福興農場栽植期為 110 年 6 月 4 日至 7 月 28 日，武士農場為 110 年 7 月 12 日至 9 月 8 日，調查期間分別架設微氣象設備記錄溫濕度及光照資料。福興農場設施內日均溫為 24.7-29.5°C，平均日輻射量 50.8-365.3 W m^{-2}；武士農場日均溫 24.8-31.3°C，日輻射量 8.5-175.2 W m^{-2}。分析小胡瓜性狀與氣象因子之相關性結果顯示，小胡瓜上/下節長與日與平均日均溫及平均日溫呈顯著負相關，溫度升高會縮短節間；而生長性狀與平均日輻射量呈顯著正相關，顯示設施小胡瓜的生長會受到日照所影響。小胡瓜性狀以第 16 節位葉片為主，並監測該葉片之光合作用，當設施光強度在 400-500 μmol m^{-2} s^{-1} 環境下，福興農場‘CU87’可維持約 3-8 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} 淨光合作用速率，而武士農場‘CU223’則維持約 3-9 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}。藉由紅外線熱影像偵測小胡瓜葉片溫度，發現福興農場葉溫主要維持在 28.5-29.2°C，惟採收末期小胡瓜葉片老化會造成植體溫度上升約 5°C，而武士農場葉溫則維持在 28.0-31.6°C。另一方面，福興農場本作季之小胡瓜總重達 3,376 公斤，良果率約 75%，而武士農場之小胡瓜總重則在 2,592 公斤。

關鍵詞：小胡瓜、氣象因子、生理特徵、紅外線熱影像

固態發酵裝置

石信德[1,*]、邱相文[2]

[1] 農業部農業試驗所植物病理組研究員
[2] 農業部農業試驗所農業工程組副研究員

[*] E-mail: tedshih@tari.gov.tw

摘要

我國菇類產業為台灣農業相當重要之一環。勞動力短缺雖是許多農業皆會遇到之問題，但由於菇類產業之規模與一般農業不同，缺工的影響更為顯著，是目前產業痛點。草生菇類 (包括洋菇、巴西蘑菇及草菇等) 的栽培主要利用腐熟的堆肥進行生產，堆肥的好壞則攸關上述菇類的產能及品質甚巨，然而對於初學者實在不易掌握堆肥製作的繁瑣操作工序，而現行的固態發酵裝置均為無移動性之大型固定式機構，且不利於新進菇農以少量人力進行堆肥的小規模製作。本技術開發可移動式的一種配對物料以進行發酵作業之固態發酵裝置，包括有桶槽以及控制模組，除可以運用製造小批量菇類堆肥外，且因具監控調整而提高堆肥品質，並且克服堆肥翻堆作業對人工勞力的依賴。本技術的應用實施可減少 60% 以上的人力數量投入，減低 70% 以上的勞動工時投入，因此可以大幅降低生產成本，方便現代化農業操作，除可運用於菇類產業外，也可應用於一般蔬果栽培堆肥製作，尤其是在農村人力老化及缺工的情況下，能夠提供省工省力的效益外，也有助於獲得高品質且穩定的堆肥，亟具有市場潛力。

關鍵詞：固態發酵、菇類、堆肥

應用可見光與熱影像技術於馬拉巴栗根部品質評估

朱玟霖 [1,*]、張群威 [2]、林孟儒 [3]、陳聰嘉 [4]、許嘉錦 [5]

[1,2] 國立中興大學生物產業機電工程學系助理教授、研究生
[3,4] 國立勤益科技大學機械工程系研究生、終身特聘教授
[5] 農業部臺中區農業改良場助理研究員

[*] E-mail: wlchu@nchu.edu.tw

摘要

馬拉巴栗是台灣主要的出口觀賞植物之一，深受國際市場的喜愛，尤其適合用作盆栽裝飾，市場需求穩定且規模龐大，因此，維持競爭力需要有效的品質檢測方法。為了提升檢測準確性，本研究對馬拉巴栗根部進行多角度拍攝與分析，並探討可見光與熱影像技術在品質檢測中的應用。可見光影像透過相機搭配不同的光源拍攝，主要關注根部外觀的健康指標。同時，熱影像技術則用於溫度分布的分析，有助於區分健康與受感染的根部，藉由觀測根部病害或損傷引發的異常溫度變化，提供可靠的無接觸檢測方式。未來，這套系統可整合至馬拉巴栗輸送線的自動化辨識，進一步提高檢測效率並維持品質的一致性。

關鍵詞：馬拉巴栗、可見光影像、熱影像、植物異常分析

基於 YOLOv9 與 LSTM-FCN 模型之茶樹生長預測曲線模型建立

王姿伶 [1,*]、林煒翔 [2]、陳世芳 [3]

[1,2] 國立臺灣大學生物機電工程學系研究生
[3] 國立臺灣大學生物機電工程學系副教授

[*] E-mail: jolin900603@gmail.com

摘要

茶為臺灣一重要經濟作物，其品質與是否可掌握最佳採收期密切相關。然，由於氣候變化及人力缺乏等多重因素，加劇茶園管理及派工之難度。若能結合環境感測器、機器視覺、物聯網技術，提供茶樹即時生長及預測資訊，將有助於農民制定田間管理及人力配置安排。本研究以樹莓派模組於北、中、南三茶區進行三品種之茶樹生長期影像蒐集，基於前期建立之茶芽識別及生長曲線預測模型進行優化。方法方面，改採 YOLOv9 架構優化茶芽識別模型。後續結合溫度、濕度等環境參數及前述茶芽識別數量，比較 Autoregressive Integrated Moving Average model (ARIMA)、Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average with eXogenous factors (SARIMAX)、Long Short-Term Memory (LSTM)，及 Long Short-Term Memory - Fully Convolutional Network (LSTM-FCN) 等四模型於建立生長曲線預測模型之效能。試驗數據顯示 LSTM 系列模型預測結果更接近真實值，又以 LSTM-FCN 模型於三季預測時，可達最佳採收期預測誤差天數於±2 天內最佳。現有開發模型已建立一茶樹生長曲線及採收期預測的智能模式，後續若可蒐集到更廣泛之栽培區域、茶樹品種，與生長季節之數據，更可驗證此一模型之泛用性，或建立各茶區、茶種之特定生長模式。

關鍵詞：茶樹、生長曲線、YOLOv9、LSTM、FCN

斜紋夜蛾自動監測技術在萵苣生產管理之應用

江明耀 [1,*]、陳琦玲 [2]、陳柱中 [3]、蔡正國 [4]

[1] 農業部農業試驗所應用動物組助理研究員、約用人員
[2,3,4] 農業部農業試驗所農業化學組研究員、副研究員、研究助理

[*] E-mail: mingyaw@tari.gov.tw

摘要

斜紋夜蛾是農業中最重要的害蟲之一，傳統監測方法主要依賴誘蟲陷阱和誘引劑進行監測，透過人工定期收集數據，通常需要 7 至 14 天才能獲得害蟲密度資訊，在即時蟲害疫情資訊收集方面存在顯著局限。為提升監測效率，農業試驗所基於傳統夜蛾監測陷阱，發展自動化監測系統。系統架構包括太陽能供電模組、微型處理器、紅外線感測模組和 NbIoT 無線傳輸技術，能夠自動計數捕獲的害蟲數量並將數據上傳至雲端伺服器。此系統克服了田間設置的環境限制，並能根據實際需求靈活布建。此外，透過「田間管理資訊平台-iPlant」，對監測結果進行可視化展示和空間分析，並結合預警基準，自動發布預警訊息。在實地驗證中，本系統已在外銷萵苣生產專區部署，覆蓋面積達 100 平方公里，並設置了 26 組監測裝置。系統每 15 分鐘自動上傳數據，並根據設定的警示閥值進行即時及定期推播。透過行動裝置，外銷萵苣生產專區的農民及農企業可以有效掌握最即時的蟲害監測密度及蟲害熱點分布資訊。藉由系統提供的風險預警資訊，萵苣生產團體能夠更智慧地進行管理決策，更靈活地調度蟲害防治資源，以更有效應對斜紋夜蛾帶來的威脅。

關鍵詞：斜紋夜蛾、自動監測陷阱、蟲害預警

農企業資源規劃 (ERP) 系統與產量預測模型之整合利用

徐武煥[1,*]、楊俊聰[2]

[1,2] 農業部農業試驗所農業工程組研究員、研究助理

[*] E-mail: swhh@tari.gov.tw

摘要

隨著全球對於食品安全及可持續農業的關注日益增加，農業生產的智慧化已成為重要的研究方向。尤其在臺灣，面臨農業勞動力短缺、氣候變遷及市場需求不穩定等挑戰，亟需透過科技手段提升生產效率及應對能力。儘管已有部分溫室導入環境感測裝置，但數據的有效應用仍未達到預期。本研究採用隨機森林演算法作為產量預測模型，並以葉面積指數 (LAI) 作為關鍵參數進行分析。透過基於 Python Django 框架的雲端系統，整合數據收集、預測分析及資源規劃功能，實現農業生產的數位化與智慧化。系統並利用 Open API 串接國家氣象資料及農糧署交易行情平台，提供即時天氣預報及農產品價格，增強使用者的決策能力。系統還包括基本生產作業、進銷存作業及財務作業等功能模組，取代傳統人工紀錄，實現資料雲端 E 化優勢。本系統基於簡便操作、易於普及及低成本的設計理念，有助於技術的實地測試與推廣，透過技術應用，農民能即時獲取產量預測及資源配置建議，從而提高生產效率並降低風險，提升農業生產效率及國際競爭力。

關鍵詞：農企業資源規劃 (ERP)、產量預測模型

3D 點雲圖像在土雞體重監測中的應用

謝廣文 [1,*]、蘇昱銘 [2]

[1,2] 國立中興大學生物產業機電工程學系副教授(退休)、碩士

[*] E-mail: cwshieh@dragon.nchu.edu.tw

摘要

本研究目的為採用現代科技和技術，取代飼養人員進入非開放式禽舍以降低禽隻染疫的風險。以白羅曼鵝為實驗對象。使用深度攝影機拍攝鵝隻影像，將物體的立體資訊轉換為電腦可處理的影像資訊，然後通過演算法將其建模為點雲立體影像。再運用凸包計算出點雲物體的體積，使用 XGBoost 機器學習以進行分析並建立的鵝隻體重模型。實驗場地位於農業部畜產試驗所北區分所的彰化場區，使用了 30 隻白羅曼鵝，從出生開始飼養，在第 0 日齡進行實驗，至 91 日齡後結束實驗，公母各半。結果顯示側視圖拍攝影像於公鵝的體重估算在訓練集和驗證集，RMSE 值分別為 0.242 kg 和 0.306 kg，訓練集 R^2 為 0.982，驗證集 R^2 值為 0.981。使用上視角拍攝影像於公鵝的體重估算在訓練集和驗證集，RMSE 值分別為 0.148 kg 和 0.211 kg，訓練集 R^2 值為 0.992，驗證集 R^2 值為 0.991。側視圖拍攝影像於於母鵝的體重估算在訓練集和驗證集，RMSE 值分別為 0.251 kg 和 0.272 kg，訓練集 R^2 值為 0.978，驗證集 R^2 值為 0.978。使用上視角影像於母鵝的體重估算在訓練集和驗證集，RMSE 值分別為 0.201 kg 和 0.206 kg，訓練集 R^2 值為 0.992，驗證集 R^2 值為 0.989。

關鍵詞：白羅曼鵝、深度攝影機、點雲、機器學習、估計體重

番茄青枯病早期預警系統

蔡佳欣 [1,*]、吳昭正 [2]、陳享民 [3]、蘇俊峯 [4]

[1,4] 農業部農業試驗所植物病理組副研究員
[2] 國立臺北科技大學電機工程學系副教授
[3] 臺中榮民總醫院醫學研究部研究員

[*] E-mail: tsaich@tari.gov.tw

摘要

番茄青枯病 (Bacterial wilt) 為番茄栽培上極重要的細菌性病害，細菌在植株維管束蔓延，造成萎凋病徵，因其在田間傳播快速，容易造成農民的經濟損失。為及早檢測出該病害，本研究先以青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) 懸浮液接種於番茄植株後，在不同時間點採樣後，利用醫院之大型固定式高光譜成像儀器分析罹病株與健康株葉片之光譜差異，測試出適合檢驗番茄青枯病的特異性光譜，並配合深度學習演算法開發出檢測技術。為將該技術開發成可在田間應用的檢測儀器，依據測試所得的特異性光譜範圍，採用適合的手持快照式高光譜成像儀，其感測器調整為互補式金氧半導體 (CMOS)，大幅縮小儀器體積，得以於田間場域直接收集資料，提升檢測的速度與實用性。此外為方便在田間移動，進一步開發行動光箱，可於現地移動拍攝，並降低環境干擾，大幅提升檢測病害的準確度。手持式高光譜成像儀搭配行動光箱，並整合台車與汽車電池，得以於田間進行長時間的病害檢測，所得資料經雲端運算平台，於田間場域可針對番茄植株進行即時性的病害檢測，提供栽培業者栽培管理參考。本技術經測試僅需檢驗番茄葉片，在番茄植株感染青枯病菌初期，肉眼尚難發現病徵時便能早期測到植株異常，可供農友作為及時採取防治手段參考，以減少該病害引起的經濟損失。

關鍵詞：番茄、青枯病、高光譜成像儀

果品害蟲判識及檢疫害蟲影像數位化技術

陳淑佩[1,*]、李奇峯[2]

[1] 農業部農業試驗所應用動物組研究員
[2] 農業部農業試驗所應用動物組聘用研究員

摘要

進出口果品中，常因檢出生物而有檢疫風險。本模組利用物件偵測卷積神經網路模型--YOLOv5 進行果品之介殼蟲辨識，已建置包含鳳梨、釋迦、柳橙及柑橘類 4 種果品之介殼蟲數位影像判讀及操作流程，果品影像至少 10,000 張，其中至少 4,000 張經過標示並用於模型訓練，對指定之 500 張影像進行果品辨識及介殼蟲數量判釋影像進行果品辨識及介殼蟲數量判釋。其中果品辨識準確度達 96%以上，介殼蟲數量判釋準確度達 85%以上。此判讀雛型技術可即時辨識果品種類及果品上介殼蟲數量，且每張辨識時間於 1 秒內完成。輕便的模組裝置未來可輔應用在不同場域而客製化使用，進而增加農產品之外銷競爭力。

關鍵詞：果品、數位影像判讀、介殼蟲

智慧水稻栽培數位分身

黃毓翔[1,*]、吳以健[2]、詹品晟[3]、吳霽函[4]、黃能富[5]

[1,3,4] 國立清華大學資訊系統與應用研究所博士生、博士候選人、博士生
[2] 農業部臺中區農業改良場副研究員兼主持人
[5] 國立清華大學資訊工程學系特聘教授

[*] E-mail: cecilhyh@gmail.com

ABSTRACT

To enable adaptive responses to abrupt shifts in operational conditions, smart farming necessitates real-time management systems, often called cyber-physical systems. These systems achieve dynamic adjustments by incorporating sensing and monitoring capabilities, intelligent analytics and planning, and the efficient management of various farm operations across different processes. To minimize farmer intervention and enhance autonomy, digital twin systems emerge as pivotal components, creating digital replicas of intricate physical systems. In the context of Agriculture 4.0, this paper focuses on the development of a smart agriculture platform with a specific case study for paddy cultivation. This comprehensive platform integrates an AIoT-driven data collection and monitoring system, a smart irrigation system, and an AI model service system for image and data analysis. The web-based user interface includes Line notification services. By merging digital twins with Artificial Intelligence of Things (AIoT), big data analytics, computer vision, human expertise, and machine learning, the aim is to enhance the monitoring, diagnosis, prediction, and optimization of various parameters within a sophisticated paddy cultivation system. Utilizing diverse computer vision and AI techniques, this study implemented and examined several models for key growth and environmental indexes in paddy cultivation. These models encompass image recognition for individual paddy crops with 92% confidence, and crop height calculation with a 10% error rate, green coverage calculation (tillering status), leaf color classification for determining nitrogen levels, paddy disease classification and detection, soil crack width calculation, and weather monitoring.

Keywords: Digital Twin, Agriculture 4.0, Cyber-Physical System, AIoT, Paddy, Machine Learning, Precision Agriculture, Computer Vision

設施葫蘆科蔬菜種子生產體系之建立

張勝智 [1,*]、薛佑光 [2]、郭宏遠 [3]

[1,2] 農業部種苗改良繁殖場助理研究員、副研究員(退休)
[3] 農業部種苗改良繁殖場麟洛分場研究員兼分場長

[*] E-mail: james7309@tss.gov.tw

摘要

瓜類作物為全球重要蔬菜，然而因開花特性與採種因素，商業雜交種子生產需耗費大量人力進行授粉。為提升採種效益，本研究以設施栽培、設施降溫技術與蜜蜂授粉等技術，結合全雌 (gynoecious) 苦瓜及雌雄同株異花 (monoecious) 甜瓜類型，探討其對果實與種子品質的影響。苦瓜部分，在設施內進行苦瓜種子生產，相較於露天採種環境，不論是果實、種子品質或是果實成熟期等採種重要影響因子，都可以取得良好成果，並可有效減少環境異常如多雨或病蟲害如瓜實蠅危害等。設施栽培配合適度降溫，於蜜蜂授粉初期避免降溫以提升授粉效率，授粉後適度降溫則有助於縮短果實成熟期、提升品質及種子產量，並減少病蟲害與環境異常影響。全雌苦瓜親本的應用可提高雜交種子生產效益並降低人力需求。甜瓜部分，採用設施直立栽培與蜜蜂授粉技術，利用雌雄異花同株甜瓜作為母本，能顯著降低人工授粉成本、提高去雄效率，並提升正常種子比率與種子品質。同時，設施栽培減少氣候及病蟲害風險，顯著優化甜瓜雜交種子生產條件。綜合試驗結果，設施內降溫與蜜蜂授粉技術可有效改善瓜類雜交種子的生產效益，適度降溫應用能提升果實與種子品質、縮短生產期，為台灣種子產業提供高效的採種模式。

關鍵詞：設施、葫蘆科蔬菜、種子生產

設施苦瓜栽培技術之研究

張勝智 [1,*]、薛佑光 [2]、郭宏遠 [3]

[1,2] 農業部種苗改良繁殖場助理研究員、副研究員(退休)
[3] 農業部種苗改良繁殖場麟洛分場研究員兼分場長

[*] E-mail: james7309@tss.gov.tw

摘要

本計畫針對設施蜂箱降溫技術對蜂群活力及授粉成效的影響，並分析不同類型根砧嫁接對苦瓜花期與果實品質的影響。在設施蜂箱降溫試驗上，露天蜂箱重量逐漸增加(由 1,920 克至 2,060 克)，但設施內蜂箱重量呈下降趨勢 (由 2,005 克降至 1,840 克)，蜂群活力亦降低。夏季 (6 月) 未降溫蜂箱中，蜜蜂在高溫時段 (13:00-15:00) 搧風降溫，但隨溫度下降 (8 月) 減少搧風行為，顯示蜂群調節能力。透過人工降溫處理發現可減少蜂群損失，觀察苦瓜嫁接苗授粉結果顯示，人工授粉與蜜蜂授粉的果實品質無顯著差異，僅果肩寬及果肉厚略優於蜜蜂授粉，證明設施內蜜蜂授粉技術的應用價值，搭配降溫技術可提高蜂群活力具應用潛力。在不同類型根砧嫁接試驗中，比較不同根砧對接穗苦瓜影響，發現絲瓜砧嫁接苗存活率高於南瓜砧嫁接苗。而在花期表現上，苦瓜因嫁接苗傷口癒合及環境影響，花期有所延遲，自根苗在初期雌雄花表現優於嫁接苗。果實品質方面，不同根砧 (砧 962607a、砧 4、砧 14 及絲 111、絲 157、絲 162) 的表現與對照組 (CK) 無顯著差異。然而，自根苗在苦瓜萎凋病高發區受害嚴重，導致中後期產量和品質下降。相比之下，嫁接苗因根砧抗病性可延長採收期，顯示根砧在提高作物抗病性及延長生育期的應用價值，特別是在苦瓜萎凋病防治方面效果顯著。整體而言，透過設施蜂箱降溫技術與適當根砧嫁接，可有效改善作物生育條件並提升抗病性，對提升苦瓜產量及品質具潛在價值。

關鍵詞：設施、蜜蜂、苦瓜、嫁接苗

小果番茄非疫生產點溫室之建置

黃秀雯

農業部臺南區農業改良場助理研究員

E-mail: hwhuang@mail.tndais.gov.tw

摘要

為提升我國優良果品的外銷機會並增加農民收益，評估向日本出口小果番茄。由於臺灣是瓜實蠅 *Zeugodacus cucurbitae* 與東方果實蠅 *Bactrocera dorsalis* (簡稱果瓜實蠅) 疫區，日本係非疫區，故禁止我國小果番茄鮮果輸日。為突破出口檢疫限制，與避免殺蟲處理而影響果品，本研究評估以獨立溫室作為非疫生產點 (a pest free production site) (簡稱非疫溫室) 的方式，向日方爭取鮮果進口。臺南區農業改良場從 2022~2024 年徵選農民進行溫室改建為非疫溫室，施工作業包括建置雙重門、包裝區、出貨口、農機具出入門等以防範果瓜實蠅入侵，截至 2024 年已累計建置 9 場域溫室共 2 公頃。

關鍵詞：非疫生產點、小果番茄、東方果實蠅、瓜實蠅

耐逆境育種溫室設計與應用：應對極端氣候的創新解決方案

吳有恒[1,*]、李汪盛[2]

[1,2] 農業部桃園區農業改良場副研究員、研究員

[*] E-mail: yhwu@tydais.gov.tw

摘要

隨著氣候變遷的加劇，農業生產面臨多重逆境挑戰，包括高溫、乾旱、暴雨等極端天氣。為了應對這些挑戰，建設耐逆境育種溫室成為推動農業永續發展的重要措施。本研究說明桃園區農業改良場耐逆境育種溫室的設計理念、功能配置與實際應用。該溫室設置主要目的在模擬極端氣候條件，提升作物的耐逆境特性，進一步支撐耐候作物品種的研發。育種溫室設計部分透光型與不透光型 2 種結構，並提供不同的光照與溫度控制，以滿足不同試驗需求。溫室內裝置無線通訊感測設備 (含環境溫、濕度、光量子、二氧化碳濃度、葉片溫度、土壤溫度、含水率及電導度感測器)，實現智慧環控與數據聯網功能。溫室同步導入補光系統與灌溉控制系統，可進一步提升試驗與栽培的效率。本文同時說明該耐逆境育種溫室在現代農業中的應用場景，包括作物抗逆性研究、新品種選育、智慧農業推廣等。

關鍵詞：智慧溫室設計、溫室環控系統、農業氣候適應、極端天氣

建立與推動甜椒安全生產之害蟲管理模式

林鳳琪 [1,*]、徐孟愉 [2]、賴政融 [3]、王昭月 [4]

[1,2,3] 農業部農業試驗所應用動物組研究員、研究助理、研究助理
[4] 農業部農業試驗所遺傳資源及生物技術組助理研究員

[*] E-mail: fclin@tari.gov.tw

摘要

據週年調查甜椒害蟲發生種類及監測害蟲密度，其關鍵害蟲為薊馬類、蚜蟲、粉蝨及茶細蟎。 整合有效安全防治模式，經模擬測試，以黃 (藍) 色黏板監測關鍵害蟲，掌握發生密度，以適時防治。應用南方小黑花椿象生物防治薊馬類害蟲，每週以每株 5-6 隻南方小黑花椿象 (*Orius strigicollis* (Poppius)) 比例釋放進行生物防治，結果顯示對甜椒上的南黃薊馬 (*Thrips palmi* Karny) 及台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa* (Trybom)) 可控制於 0.3 隻/花之低密度，以石灰硫磺劑防治茶細蟎效果達 80%以上。本研究於 2021 年起，於嘉義縣六腳鄉一處有機栽培設施進行驗證試驗，並分析其防治效果與經濟效益。結果顯示，應用或保育本土昆蟲天敵，包括南方小黑花椿象、東方蚜小蜂 (*Eretmocerus orientalis* Silvestri)、瓢蟲、草蛉等搭配其他防治，均可有效防治關鍵害蟲，較一般慣行栽培延長採收期 6 週，經效益分析，獲利率達 70%以上。善用本土天敵對環境適應之優勢，搭配其他防治技術，可發揮截長補短的效果，達安全生產兼顧品質、產量，並維護環境生態之目標。

關鍵詞：安全生產、南方小黑花椿象、東方蚜小蜂

開發粉蝨自動監測裝置及其在設施蔬果之應用效能評估

林鳳琪 [1,*]、馮如瑩 [2]、吳俊霖 [3]、范耀中 [4]、姚銘輝 [5]

[1,2] 農業部農業試驗所應用動物組研究員、研究助理

[3,4] 國立中興大學資訊工程學系教授、副教授

[5] 農業部農業試驗所農業工程組研究員

[*] E-mail: fclin@tari.gov.tw

摘要

本研究應用自動監測裝置監測設施番茄及花胡瓜之關鍵害蟲-銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* = *B. tabaci* b type) 密度，並進行應用效能之驗證。以自動裝置拍照，上傳至專家系統進行自動辨識粉蝨與計量。另外，依傳統方式逢機直立懸掛 20 張黃色黏紙，並與自動監測裝置誘得蟲數比較，驗證兩者在監測族群發生趨勢是否一致。花胡瓜上驗證試驗結果顯示，自動監測器誘得蟲數在平均每一黏板低於 100 隻時，準確率約 50-90%，自動監測裝置及黃色黏板監測密度兩者趨勢一致。在設施番茄驗證結果顯示，在粉蝨辨識及計算數量上，以系統自動影像辨識每張黏板為 6 秒。在人工辨識及計數，依每張黏紙上誘得粉蝨數量分成 3 級距，分別為每張黏板上粉蝨數量低於 50 隻，50-100 隻及大於 100 隻，每張黏板完成人工辨識與計數所需時間依序為 1-3 min、3-5 min 及 5-15 min。人工辨識計數粉蝨所需時間為自動辨識粉蝨之 10-150 倍。自動辨識計數的準確度依每張黏紙上誘得粉蝨數量分成 3 級距，分別為每張黏板上粉蝨數量低於 50 隻、50-100 隻及大於 100 隻，依序為 70-80%、60-70% 及 40-50%。本研究設立銀葉粉蝨防治基準為 50 隻/黏板/週，以機器辨識計算的蟲數在防治上具參考價值。以自動監測裝置監測番茄銀葉粉蝨發生族群變動進行管理之依據，結果顯示銀葉粉蝨密度低於 50 隻/黏板，配合清除溫室內病毒株能預防帶毒粉蝨傳播至健康植株，避免病毒蔓延，減少農損。

關鍵詞：自動監測、設施、粉蝨、害蟲管理

節能減碳之漁船設備開發與應用

郭正元 [1,*]、沈聖智 [2]

[1,2] 國立成功大學漁船及船舶機械研究中心博士後研究員、教授

[*] E-mail: turtao@gmail.com

摘要

漁業淨零減排已經是世界各國必然的趨勢，漁船使用複合油電動力系統，已成為國際漁業發展的趨勢。針對台灣近海漁船而言，船舶數量多且老舊柴油引擎比例偏高、效率低且廢氣排放更直接影響沿岸空氣。本研究於臺灣北部外木山漁港完成改裝臺灣第一艘 10 噸級棒受網油電混合動力漁船，實測結果顯示，其在進出港測試可完全不使用燃油達成 83-99% 的減碳量；在集魚燈捕撈作業時，每航次可節省 31.46% 燃油，達成 28.27% 減碳；一支釣作業時，每航次可節省 39.78% 燃油，37.04% 減碳。而將油電動力系統設計輕量化減少 78% 重量後。於南部鹽埔漁港完成 30 噸級延繩釣漁船改裝，測試捕撈每航次可節省 36.31% 燃油，減碳 33.20%。且使噪音與震動大幅下降，有利於提升漁民工作環境的舒適度。漁船油電混合動力技術，可減少漁業燃料用量，提高漁業淨零排放效益，將臺灣漁業之節能減碳再前進跨一大步。

關鍵詞：節能減碳、油電漁船、電動

AI 技術運用於溫室智慧型環控系統開發

姚銘輝 [1,*]、張斐章 [2]、張廷槐 [3]、王懷慶 [4]、江旻叡 [5]、楊舒凱 [6]

[1] 農業部農業試驗所農業工程組研究員
[2] 國立臺灣大學生物環境系統工程學系特聘教授
[3] 交通部中央氣象署資訊中心副主任
[4, 5,6] 農業部農業試驗所農業工程組計畫助理

[*] E-mail: mhyao@tari.gov.tw

摘要

農業災害強烈影響作物生產力和農產品價格。溫室栽培具有產量穩定及精緻化栽培的優點。溫室利用環境感測器進行環境控制，然而，溫室內高溫高濕環境往往容易損壞精密監測儀器，導致維護成本高及廠商不願意進行維修等問題，將阻礙溫室自動化的實現。此外，由於缺乏溫室內微氣象預測技術，無法採取預防措施。本研究開發了一種溫室智慧環境控制系統，該系統使用人工智慧技術將網格化每小時天氣預報資料輸入各種人工神經網路模型，建立預測溫室微氣象模型。微氣象預測值再輸入作物光合作用模型，以確定產生最高光合作用率的設備啟動行為，溫室的環控運作採動態控制方式，如啟動風扇、窗簾、遮陽網的調節等。綜合言之，系統係根據作物實際的生理狀況調節溫室條件，依據氣象預測值提前調整降溫或遮陽設備，防止不利的溫室條件。此自動化溫室系統中的所有資料及運算均在雲端處理，溫室內僅需接收來自雲端的控制指令，不須加裝過多的感測器，即可根據作物生長之最佳環境需求連接到各種環控設備並進行操作。自動化溫室控制器的原型在番茄溫室已進行驗證，並證實其具有實用性。

關鍵詞：溫室、深度學習、人工智慧、預測、環境控制系統

自走式土壤蒸汽消毒機克服連作障礙之試驗調查及分析

楊清富[1,*]、張元聰[2]、潘佳辰[3]

[1,2,3] 農業部臺南區農業改良場副研究員

[*] E-mail: cfyang@mail.tndais.gov.tw

摘要

農地長期連續使用容易引發連作障礙，不僅影響作物的生長與品質，還會大幅降低產量。解決此問題的方法包括施肥調整、微生物製劑使用、土壤添加物補充等，或採用淹水、加熱等物理方法。本文研究以洋桔梗溫室為實驗場域，利用自走式土壤蒸汽消毒機進行試驗，探討土壤蒸汽處理在改善連作障礙中的效益。試驗首先透過土層溫度監測，驗證利用蒸汽釘管插入土層導入蒸汽的效果。結果顯示，蒸汽能快速提升土壤溫度，並在停供後因土壤的絕熱性維持高溫，達成良好的消毒效果。此外，蒸汽處理對土壤性質影響有限，如電導度 (EC)、pH 值、有機質及養分含量等指標未出現明顯下降。對微生物而言，10 分鐘蒸汽處理顯著降低了土壤酵素活性 (FDA 反應) 及可培養微生物數量，但大部分微生物族群於兩個月後恢復，僅溶鉀菌在 10 分鐘處理後仍保持低水平。在作物生長方面，試驗的兩個洋桔梗品種於蒸汽處理區的生長勢明顯優於未處理區。特別是 10 分鐘蒸汽處理的改善效果最佳，但 5 分鐘處理後的切花品質已達市場接受標準。綜合研究結果，土壤蒸汽消毒是一種有效改善連作障礙的方法，不僅對土壤性質影響有限，還能促進作物生長。本研究為連作土壤的管理提供了一條可行的技術路徑，有助於提高農業生產效率與作物品質。

關鍵詞：土壤、蒸汽消毒、洋桔梗

新型鳳梨釋迦集貨場果實清潔機械試驗

黃政龍

農業部臺東區農業改良場副研究員

E-mail: 753@mail.ttdares.gov.tw

摘要

鳳梨釋迦是臺東重要產業，也是重要的出口果品，其中粉介殼蟲是檢疫之重點，一般在採收後於集貨場分級時，會以人工使用高壓空氣清除粉介殼蟲，此方法不僅費時且辛勞，且蟲體未經收集，恐會污染已處理好的果實。故本試驗研製新型鳳梨釋迦集貨場果實清潔機械，主要整合過去研發之水洗式及氣吹式兩款機械為一體，果實以四爪型果實承杯固定，可將鳳梨釋迦輸送前進同時旋轉，側邊配置可擺動清潔噴頭，先以 5 kg/cm^2 之清水沖洗果實，之後再以高壓空氣清潔果實，可吹除果實表面蟲體並吹乾果實；機體上方以透明壓克力蓋包覆，防止蟲體飛散，防止污染已經處理好的果實。每個果實會經過 21 秒高壓水洗，之後再經過 28 秒高壓氣吹，經 2 道處理，目前試驗可 100% 清除果實上之蟲體，作業效率每小時可處理 1,020-1,320 個，以 20 呎貨櫃 1,000 箱約 9,000 個果實的作業量能，利用機械清潔處理僅需 3 人 9 小時，相當於人工除蟲 8.3 人之作業效能，機械操作之噪音值約為 85 分貝，低於人工持氣槍操作之噪音。本機械可提升作業效率及果品品質，未來推廣使用可降低人工成本並永續發展鳳梨釋迦外銷市場。

關鍵詞：鳳梨釋迦、集貨場、果實清潔機械、粉介殼蟲

電動葉菜散裝收穫機設計與性能評估

吳有恒 [1,*]、邱銀珍 [2]

[1] 農業部桃園區農業改良場副研究員
[2] 財團法人農業機械化研究發展中心研究員

[*] E-mail: yhwu@tydais.gov.tw

摘要

本研究開發一種以電力為主的電動葉菜散裝收穫機，可切割並收穫地面 5 cm 以上的葉菜莖部 (如莧菜、空心菜及葉菜甘藷)，以解決葉菜採收過程中勞動力強、人力需求高及效率低的問題。該機器包括車體主結構、採收部、履帶底盤、電動馬達及夾持輸送機構。試驗結果顯示，在機械作業速度為每分鐘 4.5 m 的狀態下，葉菜損傷率低於 5%。相較於傳統人工收穫，本機可節省 2/3 的工作時間；且由於以電力驅動，不產生廢氣，適合設施內使用。本機具有良好的收穫效益，在葉菜輸送方式上具備創新的軟性夾持設計，可有效應用於散裝葉菜的機械化收穫。本研究成果有助於解決葉菜採收的人力問題，並提升農業生產的自動化水平。

關鍵詞：葉菜收穫機、電動農機、葉菜栽培、電動化

設施蔬菜一貫化機械技術整合應用與效益分析

吳有恒[1,*]、曾鉅翔[2]、陳嘉雯[3]

[1] 農業部桃園區農業改良場副研究員
[2,3] 農業部桃園區農業改良場助理研究員

[*] E-mail: yhwu@tydais.gov.tw

摘要

設施蔬菜產業是臺灣重要的農業經濟支柱，但菜苗移植與收穫作業仍高度依賴人工，導致勞動強度高、效率低，生產成本難以降低。本研究探討設施蔬菜一貫化機械技術的應用與成效，涵蓋整地鎮壓、機械移植、灌溉管理及機械收穫等環節。整地階段利用鎮壓輪提升土壤平整性，以增進後續機械作業效率。機械移植採用履帶式電動移植機，其具備高穩定性與精準度，移植效率為人工的 3.8 倍。灌溉作業使用帶有微細孔之噴管帶，由田區邊緣向作物灌溉，並透過感測器精準控制水分供應，以確保蔬菜品質並便利機械於設施內操作。機械收穫則使用電動式青梗白菜收穫機，該機可在單人操作下執行高效的採收作業，並提升葉菜完整性與品質。試驗結果顯示，一貫化機械技術能有效減少人力需求，提升生產效率與蔬菜品質，為設施蔬菜產業帶來省工與經濟效益。

關鍵詞：菜苗移植、灌溉管理、葉菜收穫機、青梗白菜收穫機

電動式青梗白菜收穫機之研發

吳有恒[1,*]、李汪盛[2]

[1,2] 農業部桃園區農業改良場副研究員、研究員

[*] E-mail: yhwu@tydais.gov.tw

摘要

本研究開發設施用電動式青梗白菜收穫。該收穫機由撥輪、切割機構、輸送機構、驅動輪組、控制系統及電池組件構成。作業時，收穫機利用往復式割刀切割青梗白菜短縮莖基部至下胚軸範圍，並透過撥輪及輸送帶將切割後青梗白菜向後輸送至收集籃內。本機為電動式，收穫寬度 70 cm，採單人手扶方式作業。本機驅動輪裝設有差速器，可以驅動輪為支點原地迴轉；並可透過驅動輪及輔助側輪而於不同設施間移動行走。由於收穫機具備機體輕巧及迴轉靈活的特性，適合一般塑膠布溫室收穫作業使用。配合整地鎮壓及機械移植作業後，收穫機的收穫效率為 3.1 m^2/min，整株率 95.4%。顯示本研究開發的電動式青梗白菜收穫機不僅操作靈活、具備高效能，還可與其他田間作業機械形成良好搭配，為設施蔬菜機械化生產提供了一種切實可行的解決方案。

關鍵詞：電動農機、葉菜收穫機、設施葉菜

阿基米德微水力發電儲能系統暨電動農地搬運車之整合應用

曾祥恩[1,*]、蘇文瑞[2]、林浩庭[3]

[1,2] 農業部農業試驗所農業工程組助理研究員、約用人員
[3] 國立中興大學生物產機電工程學系副教授

[*] E-mail: shyn@tari.gov.tw

摘要

隨著全球對清潔能源需求提升與氣候變遷議題的日益關注，推動永續農業已成為全球趨勢。在農業生產過程中，傳統燃油農機對環境造成污染，而綠色、低碳、節能的電動農機逐漸成為現代農業發展的重要方向。同時，農村水圳發電技術逐漸成為一種發展綠色能源的新模式。在臺灣農村地區，許多水圳屬於超低水頭 (ULH) 逕流式灌溉系統，其水頭高度通常小於 3 米，甚至接近 0 米，或水流速度超過 0.5 米/秒。這些逕流式水圳過去僅用於農田灌溉，因為水圳的水通常不被儲存，並未充分利用其水力發電潛力。然而，隨著現代技術的進步，裝置在農村水圳的微型水力發電逐漸成為潔淨能源的熱門選擇，這種超低水頭渦輪機可以利用安裝在以前被認為不合適的地點。為此，本研究設計一微水力發電儲能設備，專為農村水圳發電需求而開發，並結合電動農地搬運車進行整合應用。微水力發電儲能設備採用阿基米德式螺旋葉片作為發電載體，結合永磁式發電機與儲能控制系統，可有效利用發電效率。通過機組的設計、安裝和測試，證明具有良好的發電性能，可有效支持電動農地搬運車用電需求，並為農業的可持續發展提供助力。

關鍵詞：綠色能源、超低水頭、微水力發電、阿基米德螺旋、電動農機

電動履帶式蔬菜移植機

曾鉅翔

桃園區農業改良場助理研究員

E-mail: marco@tydais.gov.tw

摘要

目前國內設施溫網室內，小白菜、青梗白菜、油菜、小松菜、萵苣、波菜及茼蒿等小葉菜是常種植的作物，其栽培方式是先將種子於穴盤內培育成一定大小的種苗後，再移植至田間，以加速作物成長，縮短種植時間。目前溫網室小葉菜類的移植作業，多數仍以傳統人工方式進行，其過程除需大量人力外，於夏季高溫季節進行移植作業，人員體力消耗極大，且人工移植作業採蹲式彎腰也相當不符人體工學，移植作業人員膝蓋與腰部極容易受傷，導致雇工不易，也影響小葉菜的供應，從而增加作業成本。有鑑於此，本桃園區農業改良場開發出電動履帶式蔬菜移植機，應用於設施葉菜生產內使用，能使設施葉菜生產機械化並提高生產工作效率，大量快速地進行移植作業，並減輕傳統人工蹲姿移植方式的勞力負荷外外，更能有效降低蔬菜移植人工作業成本。

關鍵詞：移植機

電動式管理作業車開發

周浩源 [1,*]、吳有恒 [2]

[1,2] 農業部桃園區農業改良場助理研究員、副研究員

[*] E-mail: howellc8905@tydais.gov.tw

摘要

我國農業面臨勞動力結構高齡化與國際減少溫室氣體排放的雙重挑戰，農業轉型需求迫在眉睫。電動農機作為新興技術解決方案，逐漸成為農業現代化和環境保護的重要研究方向。本研究針對此背景，開發了第一代電動式管理作業車雛型機，旨在以創新技術應對勞動力與環境壓力。本雛型機設計以曳引機為基礎，具備 PTO (動力輸出軸) 功能，可附掛多種農機具，應用於播種、移植、施肥及收穫等多項農事作業。這種多功能性設計不僅提升了機械的實用性，也有效減輕農事工作對人力的依賴，進一步降低農業生產過程中的勞動強度。此外，雛型機全電動的特性使其在運行過程中無需使用傳統燃料動力，避免了內燃機常見的廢氣排放問題。尤其在溫室環境中，內燃機排放的廢氣容易滯留，對作物生長及操作人員的健康產生不良影響。相較之下，電動作業車的零排放特性，為溫室操作提供了更為清潔、友善的作業環境，符合現代農業的綠色發展趨勢。不僅如此，電動機具的低噪音特性，對於溫室內作業條件的改善也有顯著作用。

關鍵詞：碳排、電動農機、設施管理、農用動力

無人機 GPS 定位投放赤眼卵寄生蜂球技術

李易樺[1,*]、林立[2]

[1,2] 農業部花蓮區農業改良場助理研究員、副研究員

[*] E-mail: LiYihua@hdares.gov.tw

摘要

生物防治使用之赤眼卵蜂 (Trichogramma egg wasps) 與草蛉 (Green lacewings) 等天敵防治玉米螟及甘蔗螟等害蟲。國內使用外米綴蛾 (Corcyra cephalonica, rice moths) 卵為代用寄主或餌料進行大量生產。但目前外米綴蛾飼養、收集、純化等工作高度依賴人工作業，而技術斷層及勞動力不足導致外米綴蛾卵產量大減，已無法滿足國內所需。本研究參照現行外米綴蛾木製米床飼養架，開發具有飼養外米綴蛾及蒐集功能的半自動化機械，可取代人力並且大幅減輕人員集蛾的不適感，機械開發後進行米蛾量產試驗。傳統上赤眼卵寄生蜂以紙片型式製造，施放方式仍以人力用釘放，因費工農民採用意願降低。為提高赤眼卵寄生蜂片效能，設計開發新式蜂片及其封裝自動化設備以降低生產成本。研製蜂片投放機構整合於無人飛行載具，提昇施放效能降低人力成本，擴大使用率。達到大量生產提高普及率滿足市場需求。生物防治及農藥減半、有機友善、農產加值都是我國重要農業政策，本計畫透過省工機具的開發，支持政策推行。

關鍵詞：防治技術、蜂球、無人機

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

精農生機研究與發展學術研討會專刊 / 田雲生, 呂椿棠, 邱奕志, 林達德, 洪福良, 康樂, 張翊庭, 黃惟揚, 蔡致榮, 蔡燿全, 賴明信, 賴信忠, 鍾瑞永作；徐武煥, 楊智凱, 劉滄棽主編.-- 初版.-- 臺中市：農業部農業試驗所, 民 114.01

面：16*26 公分 (農業部農業試驗所特刊；第 245 號)

ISBN: 978-626-7651-10-0 (平裝)

1. CST: 精緻農業　2. CST: 農作物　3. CST: 農業機械　4. CST: 文集

430.7　　113020655

編　　號：農業試驗所 2025 年 01 號
書　　名：精農生機研究與發展學術研討會專刊
主　　編：徐武煥、楊智凱、劉滄棽
作　　者：田雲生、呂椿棠、邱奕志、林達德、洪福良、康樂、張翊庭、黃惟揚、蔡致榮、蔡燿全、賴明信、賴信忠、鍾瑞永
(依姓氏筆畫排列)
出版機關：農業部農業試驗所
地　　址：臺中市霧峰區萬豐里中正路 189 號
網　　址：https://www.tari.gov.tw
電　　話：(04)23302301
出版年月：114 年 1 月
版　　次：初版
定　　價：600 元
展售門市：1. 國家書店松江門市
104 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓 (02) 25180207
國家網路書店 http://www.govbooks.com.tw
2. 五南文化廣場臺中總店
403 臺中市西區臺灣大道二段 85 號 (04) 22260330

ISBN: 978-626-7651-10-0 (平裝)
GPN: 1011400067
版權所有、轉載須經本所同意

GPN：1011400067
定價：新台幣600元